INGENIERÍA
¿Pueden caminar los robots?

BIOLOGÍA
La reprogramación celular cumple años

COSMOLOGÍA
El lugar más vacío del universo

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Octubre 2016 InvestigacionyCiencia.es
Edición española de Scientific American



Desde 1976, acercándote la mejor ciencia

La visión de 14 expertos
COMUNICAR LA CIENCIA EN EL SIGLO XXI

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
ESPECIAL 40 ANIVERSARIO | EL LUGAR MÁS VACÍO DEL UNIVERSO | ROBOTS BÍPEDOS
OCTUBRE 2016 N.º 481



6,90 EUROS



ARTÍCULOS

KENN BROWN, MONDOLITHIC STUDIOS


58


62

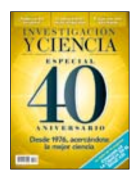

64

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

SECCIONES

EN PORTADA

Este mes, *Investigación y Ciencia* cumple cuarenta años. Para celebrar la efeméride, hemos reunido a los protagonistas de esta apasionante aventura divulgativa (editores, autores y lectores) para que compartan sus experiencias y recuerdos. Además, hemos propuesto a catorce de las personalidades más destacadas de la comunicación científica en España que reflexionen sobre qué significa comunicar la ciencia en el siglo XXI.



redaccion@investigacionyciencia.es



Mayo y agosto 2016

UNIVERSO ACELERADO

En el artículo de Adam Riess y Mario Livio «El rompecabezas de la energía oscura» [Investigación y Ciencia, mayo de 2015] se habla sobre la aceleración de la expansión cósmica. ¿Se ha llegado a medir el ritmo de dicha aceleración? Y, si esta se proyectase 14.000 millones de años hacia atrás en el tiempo, ¿confirmaría los modelos actuales de la gran explosión?

Aaron Hackett
Howell, Nueva Jersey

Se prevé que, en un futuro lejano, nuestra galaxia acabe fusionándose con Andrómeda. ¿Se retrasará este acontecimiento como consecuencia de la expansión acelerada del universo?

Dov Menkes
Fullerton, California

Responden Riess y Livio: *Con respecto a la primera pregunta, uno de nosotros (Riess) ha medido hace poco la tasa de expansión del universo, incluida su aceleración, con una precisión sin precedentes (una incertidumbre del 2,4 por ciento): su valor asciende a 73,0 kilómetros por segundo y por megapársec. Existen algunas discrepancias entre el resultado obtenido a partir de las mediciones del fondo cósmico de microondas y el que proporcionan las observaciones del universo local. Por el momento, se ignora si dicha diferencia obedece a posibles errores en las medidas o si, por el contrario, apunta a algún nuevo fenómeno físico (como una familia adicional de neutrinos o una energía oscura que cambie con el tiempo).*

Los modelos actuales de la gran explosión incluyen un período de «inflación»: una descomunal expansión del espació que habría tenido lugar durante la primera fracción de segundo del universo. Se cree que dicha expansión inflacionaria procedió de un modo muy similar a la expansión acelerada que observamos hoy.

Con respecto a la segunda pregunta, las galaxias del Grupo Local se encuentran ligadas gravitacionalmente debido a la masa que contienen. Si la materia oscura resultase ser la constante cosmológica, la aceleración cósmica no alterará la futura colisión entre la Vía Láctea y Andrómeda, la cual se prevé que ocurra dentro de unos 4000 millones de años. Sin embargo, si el parámetro de la ecuación de estado de la energía oscura (el cociente entre su presión y su densidad) resultase ser menor que –1, entonces el universo evolucionará hacia un «gran desgarrón», en el que las galaxias, las estrellas, los átomos e incluso los núcleos atómicos se irán despedazando. En todo caso, lo más probable es que eso ocurra después de nuestro futuro encuentro con Andrómeda.

GUERRAS Y CALENTAMIENTO GLOBAL

Soy lector habitual de Investigación y Ciencia y me ha sorprendido la inclusión, en el número de agosto de 2016, del artículo «Las guerras del calentamiento global», firmado por Andrew Holland. Sin entrar a analizar el discutible sesgo ideológico del artículo, me ha extrañado ver este panfleto propagandístico del Ejército estadounidense en una revista de divulgación científica.

¿Qué criterio se ha seguido para publicar en Investigación y Ciencia un texto que no incluye la menor información que pueda calificarse, incluso siendo generosos, de científica?

José Manuel Lechado
Madrid

Responden los editores: *Aunque no conforman el grueso de nuestros contenidos, Investigación y Ciencia publica con cierta regularidad artículos que, sin tratar estrictamente de ciencia, abordan las consecuencias políticas, sociales o humanas de cuestiones científicas. En el caso del cambio climático, varios artículos han analizado sus implicaciones éticas, económicas o migratorias. El de Holland (basado en datos y estudios técnicos y escrito por un analista experto en la materia) examina las consecuencias geopolíticas y militares, un aspecto no menos relevante que los anteriores. Si bien el artículo se centra en las medidas adoptadas por el Ejército estadounidense y hubiese sido deseable complementarlo con el análisis de expertos de otros países, consideramos que dar a conocer la posición de EE.UU. reviste suficiente interés para ahondar en la cuestión.*

En cuanto a la orientación del artículo, el autor reconoce desde el principio que el Ejército estadounidense no es ninguna organización humanitaria, sino una que lo que busca es defender los intereses de su país. Ello define de manera transparente el enfoque del texto y deja claro que no se pretende ofrecer ninguna defensa moral del Gobierno de EE.UU.

Errata corrige

En el artículo **Las secuelas del agente naranja** [por Charles Schmidt; Investigación y Ciencia, agosto de 2016] se afirma que el Gobierno de EE.UU concede indemnizaciones a aquellos veteranos de guerra que se hallaban sobre el terreno durante las operaciones de fumigación. Debe precisarse que dichas indemnizaciones dependen de si los soldados estuvieron en Vietnam o en la zona desmilitarizada de Corea en períodos específicos de tiempo entre 1962 y 1975.

Por otro lado, también se afirma que las indemnizaciones por anomalías congénitas en la descendencia se otorgan si el veterano puede demostrar que estuvo expuesto al agente naranja. Debe concretarse que las indemnizaciones se conceden por espina bífida si cualquiera de los progenitores sirvió en Vietnam o en la zona desmilitarizada de Corea en períodos de tiempo específicos, mientras que otras anomalías solo quedan cubiertas en función del tiempo de exposición de la madre.

Estos errores han sido corregidos en la edición digital del artículo.

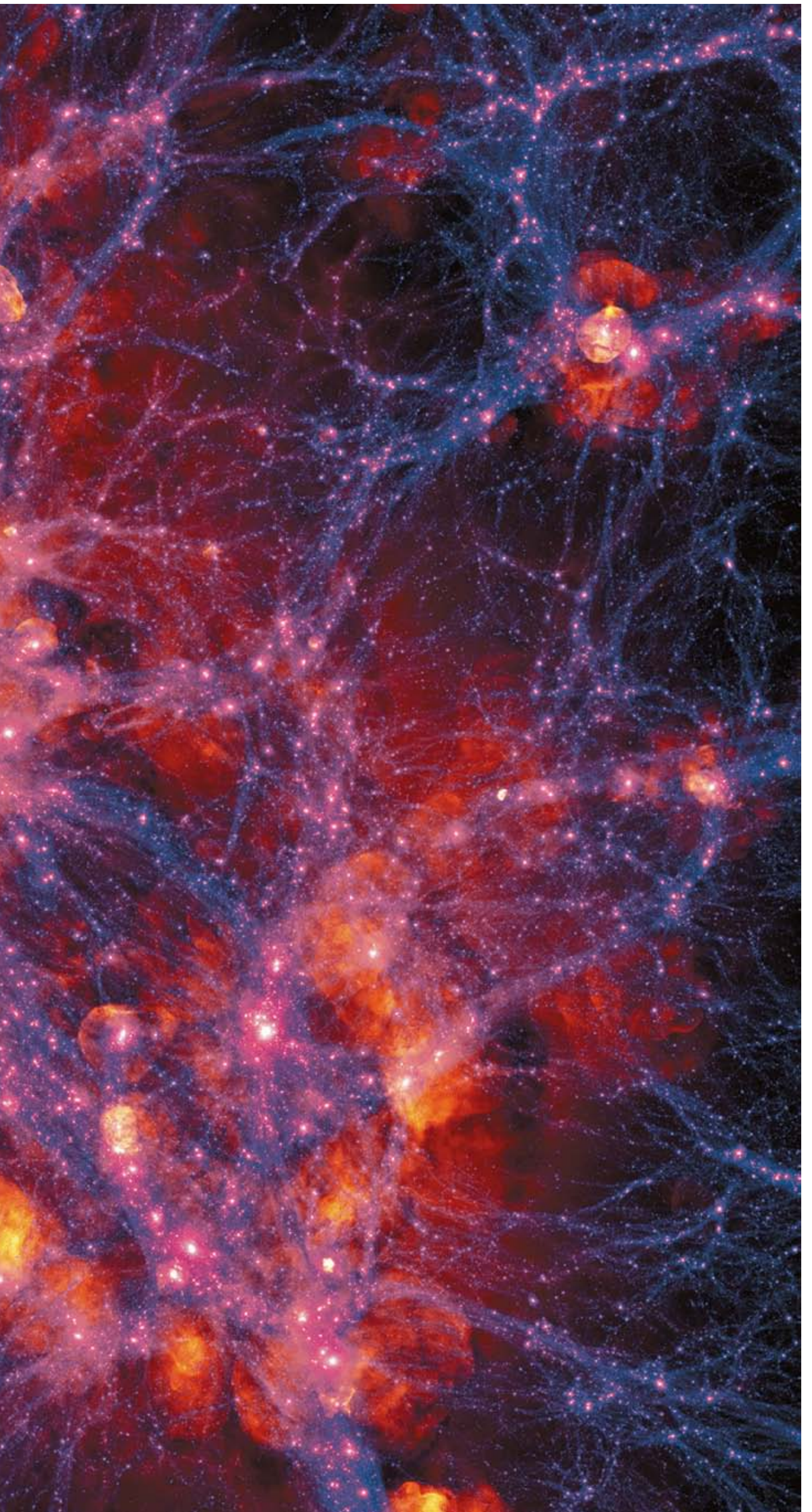
CARTAS DE LOS LECTORES

Investigación y Ciencia agradece la opinión de los lectores. Le animamos a enviar sus comentarios a:

PRENSA CIENTÍFICA, S.A.
Muntaner 339, pral. 1.ª, 08021 BARCELONA
o a la dirección de correo electrónico:
redaccion@investigacionyciencia.es

La longitud de las cartas no deberá exceder los 2000 caracteres, espacios incluidos. Investigación y Ciencia se reserva el derecho a resumirlas por cuestiones de espacio o claridad. No se garantiza la respuesta a todas las cartas publicadas.





PROYECTO COLABORATIVO ILLUSTRIS (*recreación artística de la materia oscura*)

FÍSICA

La encrucijada de la materia oscura

Varios fiascos experimentales recientes están llevando a muchos físicos a abandonar el paradigma dominante para explicar la materia oscura

La física ha vuelto a faltar a una cita con su futuro que fue concertada hace mucho. Los últimos experimentos concebidos para detectar las partículas que se cree que componen la materia oscura, la sustancia invisible que da cuenta del 85 por ciento de la masa del universo, no han encontrado nada. Tal vez las partículas buscadas, las célebres WIMP (por las siglas en inglés de «partículas masivas que interaccionan débilmente»), sepan esconderse mejor de lo que se pensaba. Pero también puede que no existan, lo que significaría que algo falla en buena parte de los modelos para entender el universo. Numerosos expertos aún conservan la esperanza de que las WIMP aparezcan en el futuro, pero otros ya han comenzado a considerar algunas ideas alternativas que, hasta hace poco, se tenían por poco probables.

El primer resultado nulo fue el del experimento LUX, un detector con 370 kilogramos de xenón líquido a 100 grados bajo cero y enterrado a 1,5 kilómetros de profundidad en Dakota del Sur. Los investigadores han pasado un tiempo equivalente a más de un año buscando los destellos de luz que deberían desencadenar las WIMP al impactar contra los átomos de xenón. El 21 de julio, anunciaron que no habían visto nada.

La segunda decepción llegó el 5 de agosto, procedente del mayor acelerador de partículas de la historia: el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN. Entre otros muchos fines, este laboratorio intenta producir WIMP haciendo chocar protones contra protones a una energía sin precedentes. Unos meses antes, los dos mayores detectores del experimento habían observado indicios de una anomalía: un exceso de pares de fotones con una energía concreta, generados como producto de las colisiones entre protones. Aquello parecía un indicio de nueva física que, entre otras posibilidades, podría estar vinculada a las WIMP. Sin embargo, a medida que el LHC fue acumulando más datos, la anomalía se esfumó: los indicios

habían resultado ser una fluctuación estadística.

Estos resultados nulos son una espada de doble filo para la búsqueda de materia oscura. Por un lado, los nuevos límites que ambos experimentos imponen a la masa y a las interacciones de las WIMP marcarán el camino para diseñar una nueva generación de detectores. Por otro, los mismos datos descartan buena parte de los modelos más sencillos y apreciados de WIMP, lo que hace temer que su búsqueda haya supuesto varias décadas perdidas en el estudio de la materia oscura.

Edward Kolb, cosmólogo de la Universidad de Chicago que en los años setenta contribuyó a sentar las bases de la búsqueda de estas partículas, sostuvo en su día que el decenio de 2010 sería «la década de las WIMP». Ahora, sin embargo, reconoce que la investigación no ha marchado como estaba previsto: «Hoy estamos más a oscuras sobre la materia oscura que hace cinco años», afirma. Hasta ahora, señala, la reacción de la mayoría de los teóricos ha sido «dejar que florezcan mil WIMP», con teorías cada vez más barrocas para explicar por qué unas partículas supuestamente ubicuas esquivan todos los detectores.

Hay dos buenas razones para pensar que las WIMP deberían existir. En primer lugar, aparecen de manera natural en una de las extensiones más estudiadas del modelo estándar, según la cual estas partículas tuvieron que generarse en grandes cantidades poco después de la gran explosión. Pero, además, en el caso de que esas WIMP primordiales existan, los cálculos indican que sus propiedades y su abundancia actual serían las adecuadas para explicar la materia oscura. Esta llamativa coincidencia, apodada «milagro WIMP», ha guiado la investigación durante años, pero ahora hay quien duda de su validez.

En 2008, Jonathan Feng y Jason Kumar, por entonces ambos en la Universidad de California en Irvine, demostraron que la misma clase de teorías que sugerían la existencia de WIMP permitían también la presencia de partículas con masas e interacciones muy distintas. «Dichas partículas dan como resultado la misma cantidad de materia oscura que medimos hoy, pero no son WIMP», explica Feng. «Eso pone todo patas arriba, ya que se trata de un modelo igual de bien motivado desde el punto de vista teórico. Lo llamamos “milagro sin WIMP”.»

El hecho de que los argumentos teóricos para postular WIMP hayan perdido peso, sumado a una lista cada vez mayor de experimentos que no ven nada, ha llevado a Feng y a otros investigadores a proponer un cuadro más complejo: todo un sector invisible del universo formado por múltiples variedades de partículas, las cuales interaccionan entre sí mediante sus propias «fuerzas oscuras», tendrían sus «cargas eléctricas oscuras» e incluso emitirían «luz oscura» [*véase* «Mundos oscuros», por J. Feng y M. Trodden; Investigación y Ciencia, enero de 2011, *y* «Materia oscura compleja», por B. A. Dobrescu y D. Lincoln; Investigación y Ciencia, septiembre de 2015]. Al contener muchas más variables con las que jugar, estos modelos pueden encorsetarse con mayor facilidad dentro de los límites que imponen los resultados nulos de los experimentos. La pega, sin embargo, es que esa misma flexibilidad hace que resulte muy difícil ponerlos a prueba de manera concluyente.

«No solo queremos que la materia oscura exista, sino que además resuelva otros grandes problemas del modelo estándar.»
—Jesse Thaler, MIT

«El sector oscuro da la libertad de inventar casi cualquier cosa», señala David Spergel, astrofísico de la Universidad de Princeton. «Ahora que el milagro WIMP ya no nos sirve como guía, el espacio de modelos posibles es enorme; un campo de juego en el que no sabemos cuáles son las opciones correctas. Necesitamos que la naturaleza nos dé más pistas sobre cómo proseguir.»

A la vista de los indicios que hasta ahora ha ofrecido la naturaleza, algunos físicos han abandonado las WIMP por completo. Por ejemplo, se sabe que existen tres variedades de neutrinos, fantasmagóricas partículas de masa ínfima y que apenas interaccionan con el resto. Aunque su exigua masa no basta para dar cuenta de la materia oscura, el mero hecho de que sea distinta de cero abre la posibilidad a que exista un cuarto tipo de neutrino, más masivo, apodado «estéril» [*véase* «Mensajeros fantasmales de nueva física», por M. S. Hirsch, H. Päs y W. Porod; Investigación y Ciencia, junio de 2013]. «Casi todos los mecanismos que explican la masa de los neutrinos requieren la existencia de neutrinos estériles, y sería muy fácil que alguno de ellos constituyese la materia oscura», apunta Kevork Abazajian, físico teórico de la Universidad de California en Irvine.

Otro perenne candidato es el axión, una hipotética partícula mucho más ligera que las WIMP y que fue propuesta en los años setenta para resolver cierto problema relacionado con las simetrías del modelo estándar. «Si las WIMP no aparecen, las apuestas se dirigirán hacia los axiones», conjetura Peter Graham, físico de Stanford [*véase* «Tras el rastro de los axiones», por J. Jaeckel, A. Lidner y A. Ringwald; Investigación y Ciencia, marzo de 2015].

Más allá de WIMP, sectores oscuros, neutrinos estériles y axiones, existen otras posibilidades, si bien ninguna de ellas constituye un campo demasiado activo de investigación: agujeros negros primordiales, dimensiones adicionales del espacio o incluso modificaciones a la teoría de la gravedad de Einstein.

Con todo, lo que más preocupa a numerosos físicos no es que la idea de la materia oscura acabe demostrándose errónea (las pruebas empíricas a favor de su existencia son abrumadoras), sino que esclarecer su identidad no ayude a afrontar otros grandes misterios de la física. «No solo queremos que la materia oscura exista, sino que además resuelva otros grandes problemas del modelo estándar», apunta Jesse Thaler, físico del Instituto de Tecnología de Massachusetts. «No todo descubrimiento puede ser una revelación [...] que de pronto hace que las teorías casen entre sí mucho mejor que antes. A veces, las nuevas partículas solo nos hacen decir: “¿¡Quién ha pedido esto!?”. ¿Vivimos en un universo donde cada hallazgo nos lleva a un conocimiento más profundo, o en uno en el que algunas partes vienen a cuento pero otras no? La materia oscura ofrece ambas posibilidades.»

—Lee Billings

ETOLOGÍA

La brújula interna de los cérvidos

Algunos herbívoros asustados huyen hacia el norte o el sur para escapar de los depredadores

Cuando algo o alguien ahuyenta a los ciervos que pastan en un prado, todos emprenden la huida a la vez en aparente orden. ¿Cómo se las apañan los individuos del rebaño, asustados o incluso presas del pánico, para iniciar la desbandada sin atropellos?

Con el fin de descubrirlo, el equipo de Hynek Burda, biólogo de la Universidad Checa de Ciencias Biológicas en Praga, fijó su atención en el corzo, un cérvido europeo que pasta en campo abierto. Por ser presa codiciada de los cazadores, el corzo teme al hombre y huye ante su sola presencia. Durante la primavera y el verano de 2014, el equipo se dedicó a espantar a 188 rebaños de corzos que pastaban en tres cotos de caza checos. Uno supondría que los animales correrían en dirección opuesta al peligro inminente o hacia el cobijo más cercano. En lugar de ello, los ungulados preferían huir hacia el norte o el sur magnético. Para Burda, esa observación revela que el corzo tendría la capacidad de percibir el campo magnético terrestre, como si contara con una brújula interna. «La magnetorrecepción parece ser un sexto sentido más corriente de lo que suponíamos», explica. Permitiría a los miembros del rebaño escapar sin chocar unos con otros (pues todos se dirigirían en la misma dirección) y reagruparse con rapidez una vez pasado el peligro. Las conclusiones se publicaron el pasado agosto en *Behavioral Ecology and Sociobiology*.

Matthew Kauffman, zoólogo de la Universidad de Wyoming que no ha participado en el estudio, opina que los resultados son interesantes porque los investigadores no suelen contemplar el geomagnetismo como estrategia para eludir a los depredadores. Pero matiza que sería preciso recabar más datos si se quiere corroborar la hipótesis, y que Burda y su grupo deberían repetir el experimento en otros lugares y en estaciones distintas. «Hay muchísimos elementos en el entorno que podrían solaparse con los puntos cardinales», advierte.

—Jason G. Goldman



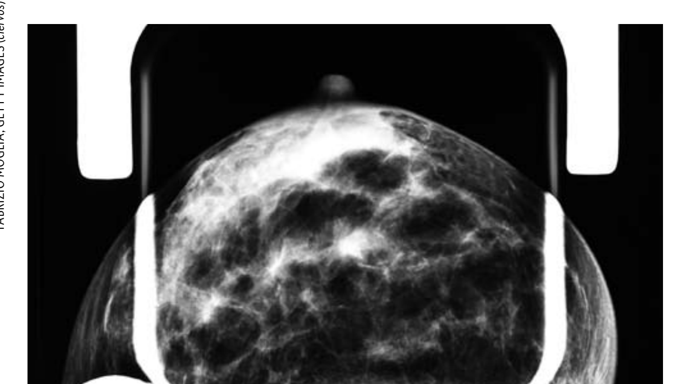
SALUD

La mama posee su propio microbioma

Las comunidades bacterianas podrían detener o fomentar el crecimiento del cáncer

El microbioma intestinal ocupa el primer plano en lo que respecta al reciente auge de las investigaciones sobre las bacterias que habitan en nuestro cuerpo. Pero estas también proliferan en el tejido mamario femenino, y la mezcla de bacterias podría ejercer una influencia equiparable en la salud, según un nuevo estudio publicado en *Applied and Environmental Microbiology*. Los resultados indican que las bacterias radicadas en la mama, aun en pequeño número, podrían condicionar el cáncer de esta glándula; aumentarían el riesgo en algunos casos y lo reducirían en otros, asegura Gregor Reid, catedrático de microbiología e inmunología en la Universidad Occidental de Ontario y autor principal del estudio.

A una de cada ocho mujeres de EE.UU. se le diagnosticará cáncer de mama a lo largo de su vida, pero su causa se ignora en la mayor parte de los casos. Acostumbran a influir la edad, la predisposición genética y los cambios ambientales, y son cada vez más los datos experimentales que señalan a las bacterias como uno de tales factores ambientales. Ya en los años sesenta del siglo XX, diversos estudios comprobaron que la lactancia natural reducía el riesgo de cáncer; trabajos más recientes indican que ello obedecería a que la leche materna facilita el crecimiento de los microorganismos benéficos.



FABRIZIO MOGLIA, GETTY IMAGES (*ciervos*); GETTY IMAGES (*mamografía*)

Reid y su equipo decidieron ahondar en esa idea. Analizaron el ADN bacteriano en muestras de tejido mamario de 58 mujeres sometidas a tumorectomías o mastectomías por tumores benignos o malignos, así como el de 23 mujeres sanas sometidas a reducciones o aumentos de mama. Hallaron que las afectadas por el cáncer de mama presentaban niveles elevados de ciertos tipos de bacterias, como *Enterobacteriaceae, Staphylococcus* y *Bacillus*, mientras que sanas mostraban niveles más altos de otros tipos, como *Lactococcus* y *Streptococcus*.

No es sorprendente que la mama albergue microbios, aclara Delphine Lee, investigadora del cáncer mamario en el Instituto John Wayne del Cáncer en Santa Mónica, California, ajena al estudio. «La mama está expuesta al ambiente externo a través del pezón y el sistema ductal. Las bacterias también pueden colonizar el tejido mamario a través de heridas cutáneas y otros mecanismos. Pero de lo que aún no estamos seguros es de si la presencia de ciertas bacterias cerca de los tumores mamarios se debe a que son las causantes del cáncer o simplemente crecen en el entorno del tumor», explica.

Si ciertas bacterias promueven el cáncer, ¿de qué modo lo hacen? Algunas especies de *Enterobacteriaceae* y *Staphylococcus* parecen provocar daños en el ADN, un conocido mecanismo que genera cáncer. Otras pueden causar inflamación. El mecanismo exacto resta por verificar en estudios con animales, aclara Reid, pero espera que en el futuro se pueda emplear la composición bacteriana de cada paciente como biomarcador para el cribado del cáncer o para elaborar probióticos que mejoren el pronóstico y la eficacia de los tratamientos.

—Knvul Sheikh



SALUD MENTAL

¿Deprimido? Haga lo que más le guste

Ante los trastornos del estado de ánimo, las terapias que se concentran en cambiar la conducta son tan eficaces como las que modifican los pensamientos

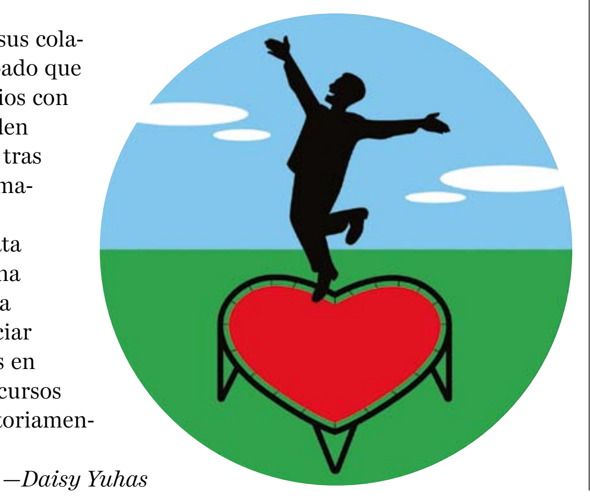
Cerca de 350 millones de personas de todo el mundo sufren depresión. Los terapeutas recurren a numerosas técnicas para poner remedio a este trastorno, pero ninguna cuenta con una base científica más rigurosa que la terapia cognitivo-conductual (TCC). Esta técnica introspectiva se centra básicamente en los patrones de pensamiento, en enseñar a los pacientes a reconocer y reformular el pensamiento problemático. Ahora, sin embargo, los profesionales de la salud mental disponen de otra opción: cada vez más datos indican que la denominada terapia de activación conductual (AC) es tan eficaz como la TCC.

La activación conductual es una técnica extrospectiva con la que el terapeuta intenta modificar las acciones, más que los pensamientos. «La idea es que los actos y los pensamientos están vinculados», explica David Richards, especialista en servicios sanitarios de la Universidad de Exeter. Si, por ejemplo, un paciente valora la naturaleza y la familia, el terapeuta puede animarle a que pasee cada día por el parque con sus nietos. Con ello mejorará la gratificación por relacionarse más con el mundo exterior, cosa que puede ser especialmente difícil para las personas deprimidas, y creará una alternativa a «pasatiempos» más negativos, como darle vueltas a una pérdida. La AC existe desde hace décadas, y algunos de sus elementos forman parte de la TCC, pero hasta ahora nunca se había puesto a prueba con la magnitud y el rigor necesarios para evaluar su potencia relativa como técnica autónoma.

En uno de los mayores estudios de ese tipo, Richards dirigió una colaboración de 18 investigadores adscritos a tres centros de salud mental británicos para comparar directamente la AC y la TCC. Asignaron una de las dos terapias, de 16 semanas de duración, a 440 pacientes con depresión y examinaron sus progresos al cabo de 6, 12 y 18 meses después de iniciar el tratamiento. Tal y como revela en su artículo, publicado en línea el pasado julio en *The Lancet*, el equipo comprobó que ambos tratamientos resultaban igual de eficaces. Al cabo de un año, cerca de dos tercios de los pacientes de ambos grupos refirieron una reducción de por lo menos el 50 por ciento en sus síntomas.

Tales resultados podrían cambiar las directrices terapéuticas. Los pacientes deprimidos podrían comenzar con terapias más sencillas, como la AC, y buscar atención más especializada en caso de no responder a ellas. El enfoque es similar a la prescripción de medicamentos antidepresivos, cuyo porcentaje de éxito resulta comparable al de tales terapias. «Creemos que la activación conductual es un primer paso eficaz en el tratamiento y este artículo aborda ese punto», afirma George Alexopoulos, psiquiatra geriátrico de la facultad de medicina Weill Cornell, que no ha intervenido en el estudio.

Además, Richards y sus colaboradores han comprobado que los trabajadores sanitarios con menos experiencia pueden poner en práctica la AC tras un corto período de formación, lo que la convierte en una opción más barata que la TCC, que exige una gran especialización. Esa distinción podría propiciar su difusión en los países en desarrollo, donde los recursos de salud mental son notoriamente escasos.



—Daisy Yuhas

GENÉTICA

¡Larga vida a los clones!

El primer estudio riguroso sobre animales clonados de edad avanzada indica que son completamente normales

El nacimiento de la oveja Dolly, hace veinte años, demostró que era posible transferir el ADN extraído de una célula adulta de mamífero a un ovocito sin fecundar y engendrar un animal genéticamente idéntico al donante. Pero Dolly murió de forma prematura y dejó la impresión de que los animales clonados presentaban una menor esperanza de vida.

A fin de averiguar si los clones son menos sanos que sus homólogos «naturales», Kevin Sinclair, biólogo de la Universidad de Nottingham, ha examinado a cuatro de los clones de Dolly (Debbie, Denise, Dianna y Daisy) a lo largo de su vida. Las cuatro ovejas procedían del mismo lote de células mamarias congeladas del que nació Dolly. Además, ha estudiado a nueve ovejas clonadas de otras razas. Los 13 rumiantes tienen ahora más de nueve años (edad equivalente a la de un septuagenario u octogenario humano) y todas están tan sanas como las ovejas ordinarias, según las gammagrafías óseas, el análisis de glucosa en sangre y el control riguroso de la presión arterial. Los resultados se han publicado recientemente en *Nature Communications*.

Así pues, ¿por qué Dolly murió joven? Los científicos que trabajaron con ella afirman que murió de una enfermedad contagiosa que afectó al rebaño, no a causa de un problema propio de los clones. Sufría artritis en las rodillas, pero la genetista Helen Sang, del Instituto Roslin de Edimburgo, donde nació, señala que cualquier oveja criada bajo techo y alimentada con tantas golosinas como lo estuvo ella habría sufrido también problemas articulares.

Dos décadas después, la clonación sigue siendo menos eficaz que la reproducción natural. Pero el nuevo estudio revela que si un animal clonado sobrevive a la gestación y goza de buena salud durante las primeras semanas de vida, tal vez tenga las mismas posibilidades de prosperar que otros animales de su raza. La clonación se emplea hoy para generar células madre embrionarias destinadas a la investigación y como medio para reproducir ganado de alto valor.

—Karen Weintraub

THOMAS FUCHS (*ilustración*); UNIVERSIDAD DE NOTTINGHAM (*ovejas*)

Un robot para aprender a gatear

Una nueva terapia robótica mejora el gateo de los bebés con riesgo de padecer parálisis cerebral

Para los bebés con parálisis cerebral, gatear puede resultar muy difícil. Esta lesión cerebral afecta al control de los músculos, por lo que los niños a menudo desisten de intentar gobernar sus movimientos sobre el suelo. Como consecuencia, el cerebro deja de construir y reforzar las conexiones que participan en el desarrollo motor y en la orientación espacial, lo que a lo largo de la vida conlleva nuevos problemas relacionados con el movimiento, explica Thubi Kolobe, fisioterapeuta e investigadora de la Universidad de Oklahoma. «Si no lo usas, lo pierdes. Es el lema del cerebro.»

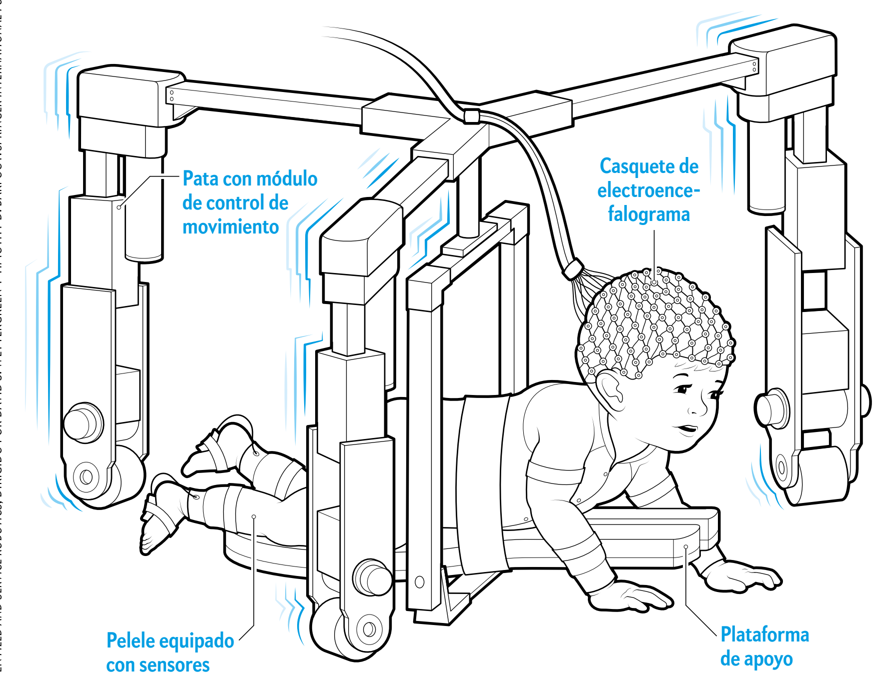
A partir de investigaciones previas que mostraban que la intervención temprana podía mejorar el control motor, Kolobe y sus colaboradores desarrollaron un dispositivo para promover el gateo. Bautizado como Gateador de Progresión Autoiniciada en Decúbito Prono (SIPPC), consta de un pelele de alta tecnología con el que se viste al niño y de un robot de tres patas con ruedas, dotado de un algoritmo de aprendizaje automático. Los sensores del pelele detectan las patadas o los desplazamientos de peso del bebé, y el robot responde empujando una plataforma en la misma dirección, lo que impulsa al niño hacia donde quiere ir.

En un ensayo preliminar de 12 semanas, los investigadores estudiaron a 28 niños con riesgo de parálisis cerebral (el diagnóstico definitivo no suele llegar hasta pasado el año de edad) mientras practicaban el gateo ayudados por el robot dos veces a la semana. Como resultado, los participantes fueron capaces de moverse por una habitación casi un mes antes que quienes practicaron con una versión sin potencia del robot. Y, cuando el seguimiento se prolongó hasta los 14 meses de edad, se vio que la asistencia motriz también aumentaba la probabilidad de que un bebé acabase gateando con independencia.

Ahora los investigadores quieren ampliar el ensayo para incluir a casi 80 bebés con riesgo de parálisis cerebral. «Nuestra esperanza es desarrollar una terapia robótica que aumente la experiencia motriz de estos niños y que, cuando crezcan, les facilite participar en la sociedad y ser independientes», concluye Andrew Flagg, catedrático de bioingeniería y uno de los coautores del estudio.

—*Knvul Sheikh*

EL ROBOT SIPPC mantiene a los bebés en posición de gateo mientras aprenden a explorar su entorno.



BROWN BIRD DESIGN (*ilustración*); FUENTE: «NOVEL ASSISTIVE DEVICE FOR TEACHING CRAWLING SKILLS TO INFANTS», DE MUSTAFA A. GHAZI ET AL., EN *FIELD AND SERVICE ROBOTICS*, DIRIGIDO POR DAVID S. WETTERGREEN Y TIMOTHY D. BARFOOT. *SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING*, 2016; INSTITUTO CAJAL, CSIC, RANM (*neuronas*)

AGENDA

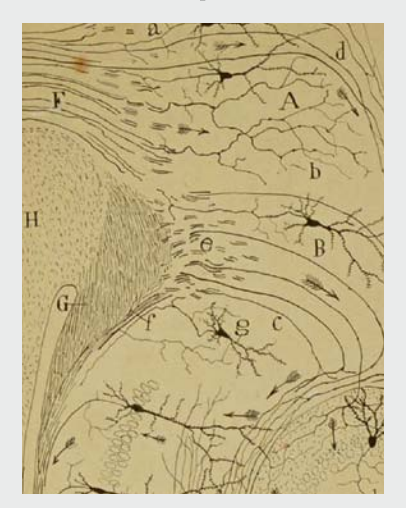
CONFERENCIAS

¿Qué sabemos de...?
Ciclo de conferencias, CSIC
Zaragoza, Santiago, Madrid, Santander y Pamplona
www.csic.es/conferencias-que-sabemos-de

27 de octubre
El programa del CERN en física nuclear
María J. García Borge y Enrico Chiaveri, CERN
Fundación BBVA
Madrid
www.fbbva.es > agenda

EXPOSICIONES

A partir del 20 de octubre
Cajal: Hombre y ciencia
Real Academia Nacional de Medicina
Madrid
www.mmim.es > exposiciones



OTROS

6 y 26 de octubre — Tertulias
Tertulias de Literatura Científica
Comienzo de la 10.ª edición
Universidad de Vic
Vic
mon.uvic.cat/tlc

21 y 22 de octubre — Encuentro
Jornadas de Divulgación Innovadora
Foro para comunicadores
Centro Etopia y Centro Cívico Delicias
Zaragoza
www.divulgacioninnovadora.com

29 de octubre — Jornada
Relatividad, la ciencia del futuro
Charlas, proyecciones y actividades sobre relatividad
Espacio cultural La Cate
Figueras
ca.figueres.cat

OCEANOGRAFÍA

Basuras a mares

Los desperdicios que generamos los humanos, uno de los principales problemas ambientales de un mundo cada vez más poblado, alcanzan ya las regiones más profundas del océano

MIQUEL CANALS Y GALDERIC LASTRAS

La cultura de lo desechable ha alcanzado prácticamente el último rincón del planeta. Entre todos generamos cantidades ingentes de basura, continuamente, sin descanso. El océano, que como es bien sabido recubre dos terceras partes de la superficie terrestre, se ha convertido en el gran vertedero de una humanidad que se dirige imparablemente hacia los 10.000 millones de personas en 2050, después de haber rebasado los 7000 millones en octubre de 2011, según las Naciones Unidas. Basuras de distinta naturaleza han sido halladas en los lugares más remotos, profundos e inaccesibles de nuestro océano.

La «basurización» de la Tierra, y del océano en particular, es tal que ha sido reconocida como un problema mayor por los principales líderes y foros mundiales. Así, uno de los epígrafes de la reciente encíclica *Laudato si'* del Papa Francisco lleva el significativo título de «Contaminación, basura y cultura del descarte». También el poderoso grupo de países G-7 (Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón y Reino Unido) en su declaración final de la cumbre de junio de 2015 en Alemania reconoció la basura marina como un reto global, y se comprometió a combatirlo actuando sobre sus fuentes y lugares de acumulación, así como a través de la educación, la investigación y la divulgación. En su última cumbre, celebrada en mayo de 2016 en Japón, el G-7 se ha reafirmado en su compromiso acerca de las basuras marinas, en el marco más amplio del uso eficiente de los recursos y de la llamada estrategia 3R (Reducción, Reutilización, Reciclaje).

La era del plástico

Los residuos marinos presentan todo el espectro de tamaños, formas, colores, composiciones, densidades, comportamientos hidrodinámicos e impactos asociados (incluidos los de naturaleza tóxica) de las basuras en general. En su mayor parte, llegan al mar desde el continente, principalmente a través de los ríos y sistemas de descarga de aguas residuales y pluviales. La entrada directa de basuras a lo largo de los segmentos de costa antropizados es también relevante, con puntas estacionales en playas, áreas urbanas y complejos turísticos. En el caso de los componentes más ligeros, el viento también puede ser un agente de transporte significativo. El vertido directo desde todo tipo de embarcaciones, sea por descuido o intencionado, constituye otra fuente de residuos marinos. Varios estudios han investigado la relación del tráfico marítimo con la densidad de basuras en el agua y en el lecho marino. Las flotas pesqueras y, en menor medida, las embarcaciones que practican la pesca deportiva, merecen mención aparte como fuente de un tipo específico de basura marina: los restos de artes de pesca perdidas, abandonadas o, simplemente, desechadas.

En función de su densidad respecto al agua marina, los desechos se hallarán flotando en superficie o a medias aguas, o yaciendo en el lecho marino, donde devienen un componente exótico que, a la larga, pasará a integrarse en el registro sedimentario, como indicador de la moderna «era del plástico». La mayoría de las playas, por otra parte, acumulan cantidades elevadas de basura, ante lo cual solo caben dos opciones: no actuar o abordar costosas y frecuentes labores de limpieza.

Según la organización Ocean Conservancy, los tipos de basura más comunes en la superficie del océano son, por este orden: colillas y restos de cigarrillos, tapones, botellas y bolsas de plástico, envoltorios, cubiertos y platos de plástico, botellas de vidrio, agitadores de plástico, latas de bebidas y bolsas de papel. Este grupo, en el que destacan de manera especial los plásticos, representa el 80 por ciento de todos los desechos marinos flotantes a escala global.

En cuanto al lecho marino, destacan las conclusiones de un estudio llevado a cabo por un grupo muy numeroso de in-



LOS DESECHOS DE PLÁSTICO se acumulan en el eje del cañón submarino de La Fonera (Costa Brava), a unos 800 metros de profundidad. Nótese la presencia de erizos de mar en su proximidad. Fotografía obtenida desde un vehículo subacuático por control remoto, o ROV (por sus siglas en inglés).

MIQUEL CANALS. GRUPO DE INVESTIGACIÓN CONSOLIDADO DE GEOCIENCIAS MARINAS DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA

vestigadores de distintos países, liderado por Christopher K. Pham, de la Universidad de las Azores. A partir del análisis de 588 vídeos de vehículos subacuáticos y arrastres científicos en 32 lugares en aguas europeas, estos científicos han observado dos hechos relevantes. El primero, que el plástico es, con mucho, el tipo de basura más abundante en las plataformas continentales y los cañones submarinos, mientras que los restos de artes de pesca son particularmente comunes en los montes submarinos y las dorsales oceánicas. Estos datos apuntan a un origen predominantemente continental de los plásticos. El segundo hecho relevante es que las mayores densidades de basura se hallan en los cañones submarinos, valles profundos encajados en los márgenes continentales.

Otro estudio, realizado en el norte de Cataluña, por Xavier Tubau, de la Universidad de Barcelona, y otros investigadores precisó que las mayores concentraciones (*hotspots*) de basuras se hallan exactamente en los ejes de los cañones submarinos, donde también se observa un claro predominio del plástico (superior al 70 por ciento). En los cañones de La Fonera (o Palamós) y del cabo de Creus se hallaron, además, las concentraciones promediadas de basuras más altas jamás observadas en los fondos marinos profundos, con más de quince mil y ocho mil objetos por kilómetro cuadrado, respectivamente. Detrás de los plásticos, el tipo de residuo más abundante fueron los restos de artes de pesca (el 24 y el 11 por ciento, respectivamente), muy comunes en las cabeceras de los cañones, cuyo carácter rocoso y relieve irregular favorecen el enganche y la pérdida subsiguientes de palangres y redes.

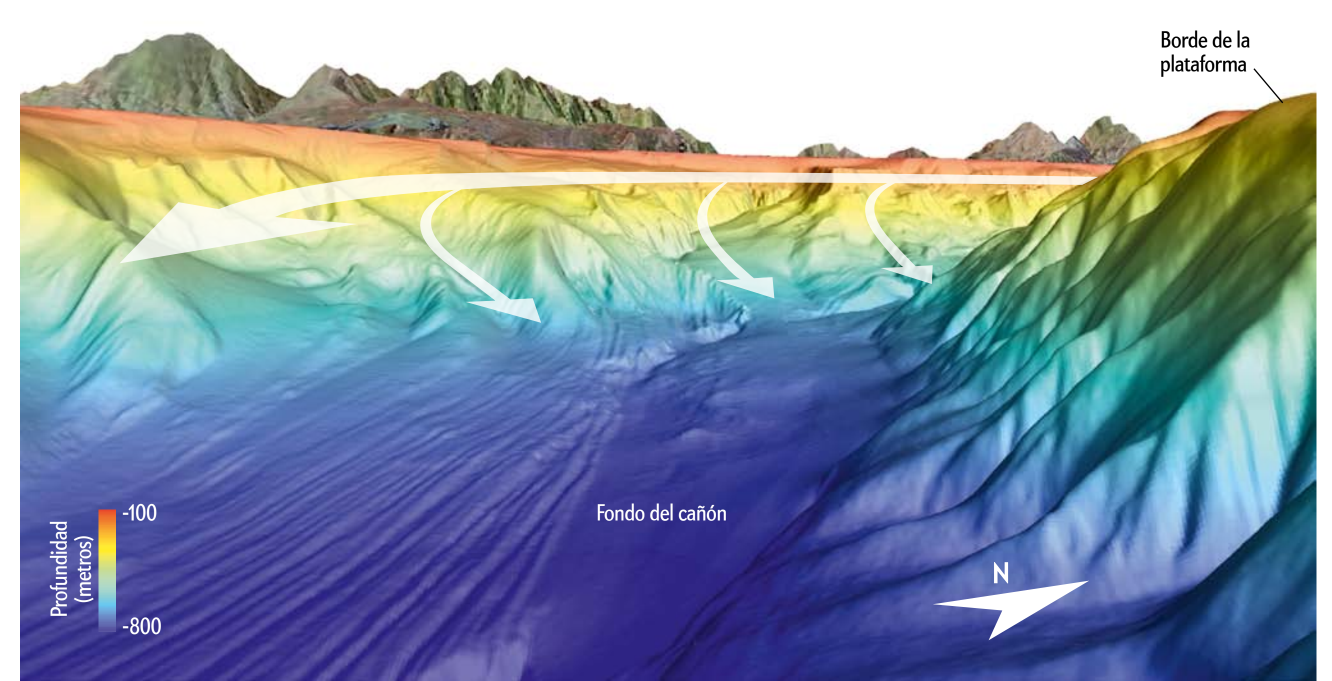
En cuanto al impacto ecológico de las basuras, un estudio publicado el pasado mayo por nuestro grupo en *PLoS ONE* ha revelado el efecto negativo que ejercen sobre las colonias de corales de aguas frías que se desarrollan en el cañón de La Fonera. Especialmente vulnerables son las colonias aisladas y menos protegidas, en las cuales se enredan fácilmente redes y otras artes de pesca y se acumulan plásticos y otros restos.

Llama la atención que las mayores densidades de basura en esos cañones correspondan a los intervalos de entre 500 y 1000 metros, y de más de 1000 metros (hasta 1700 metros). Se da el caso de que ambos cañones, el de La Fonera y el del cabo de Creus, se hallan profundamente encajados en la plataforma continental, y que sus cabeceras se encuentran a tan solo 800 metros y 4 kilómetros de la línea de costa, respectivamente, y se inician a escasas decenas de metros de profundidad.

Transporte en profundidad

Se da también el hecho de que, en las plataformas continentales someras en las que están excavados esos cañones, se produce en invierno y principios de primavera, con intensidad variable según los años, un marcado enfriamiento y densificación de las aguas, debido a la acción persistente de la tramontana y el mistral. Se trata de vientos fríos y secos del norte que provocan la evaporación superficial y el trasvase de calor desde el océano hacia la atmósfera. Ello hace que la densidad de las aguas superficiales aumente progresivamente. El fenómeno se ve favorecido en inviernos secos, con escasa descarga fluvial, especialmente del río Ródano, el más caudaloso de la región. La descarga de agua dulce contribuye a disminuir la densidad superficial, oponiéndose así a la acción de densificación por los vientos norteños.

Cuando se alcanza un determinado umbral de densidad, que puede ser variable de un año a otro, las aguas superficiales de plataforma devienen más densas que las aguas que tienen por debajo, iniciándose así su hundimiento y el



LAS CASCADAS DE AGUAS DENSAS son un fenómeno que propicia el transporte de basuras en profundidad, como las descritas en la cabecera y curso superior del cañón submarino del cabo de Creus (Gerona), aquí representado. Las flechas indican la entrada en el cañón de las aguas densas y el sentido de su desplazamiento. Al fondo de la imagen se aprecia la plataforma continental somera (*naranja*) y los relieves terrestres próximos a la costa (*marrón y verde*). (Imagen construida a partir de datos de batimetría de multihaz de alta resolución.)

D. AMBLÁS, GRUPO DE INVESTIGACIÓN CONSOLIDADO DE GEOCIENCIAS MARINAS DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA

fenómeno conocido como «cascadas de aguas densas de plataforma» [*véase* «Gigantescas cataratas oceánicas», por John A. Whitehead, Investigación y Ciencia, abril de 1989].

Este hundimiento, descrito por el primer autor (Canals) y otros en la revista *Nature* en 2006, queda claramente marcado por una serie de anomalías en las propiedades de las aguas de cascada, que fluyen durante semanas en forma de manto pegado al fondo hasta que alcanzan su profundidad de equilibrio a centenares o miles de metros. Se trata, entre otras, de anomalías de temperatura (hasta 3 grados centígrados más frías), densidad potencial (0,8 kilogramos por centímetro cúbico), velocidad (superior a 100 centímetros por segundo) y concentración de material en suspensión (mayor que 40 miligramos por litro). (La densidad del agua es inversamente proporcional a la temperatura y directamente proporcional a la salinidad y la presión, mientras que la densidad potencial es la que tendría una muestra de agua si fuese llevada a la superficie del mar sin pérdida ni ganancia de calor.) Podemos imaginarnos, pues, a las aguas de cascada como algo parecido a una lechada de aguas frías, densas y turbias que fluyen con rapidez pendiente abajo, por el talud continental.

Los cañones submarinos, por su morfología, canalizan las cascadas de aguas densas que escapan de la plataforma continental, y con ello las basuras y otros contaminantes que son así transferidos desde las zonas costeras hacia los tramos más profundos de los propios cañones y hacia la cuenca profunda. Este transporte episódico, con una marcada componente estacional, afecta principalmente a las basuras más ligeras y más fáciles de removilizar, es decir, a los plásticos. De ahí que estos sean especialmente abundantes en los ejes y en los tramos más profundos de dichos cañones.

Dado que el fenómeno de las cascadas de aguas densas de plataforma ocurre en muchos otros lugares del mundo, cabe esperar que también en ellos se produzca una transferencia hacia el margen profundo de plásticos y otras basuras ligeras. Nos hallamos, por tanto, frente a un proceso natural que, por una parte, sustrae basuras al mar costero pero, por otra, las inyecta en los ambientes profundos. ¿Les suena aquello de barrer debajo de la alfombra? Pues es algo parecido. Pero no por menos visible dejará de existir esa basura altamente resistente a la degradación que cada vez de forma más pronunciada va tapizando el lecho marino antes impoluto, impactando así a las comunidades y organismos que viven en el fondo y cerca de él.

—Miquel Canals
—Galderic Lastras
Dpto. de dinámica de la Tierra y del océano
Facultad de geología
Universidad de Barcelona

PARA SABER MÁS

Flushing submarine canyons. M. Canals et al. en *Nature*, vol. 444, págs. 354-357, 2006.
Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins. C. K. Pham et al. en *PLoS ONE*, vol. 9, n.º 4, e95839, 2014.
Marine litter on the floor of deep submarine canyons of the Northwestern Mediterranean Sea: The role of hydrodynamic processes. X. Tubau et al. en *Progress in Oceanography*, vol. 134, págs. 379-403, 2015.
Cold-water corals and anthropogenic impacts in La Fonera submarine canyon head, Northwestern Mediterranean Sea. G. Lastras et al. en *PLoS ONE*, vol. 11, n.º 5, 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

Plásticos colonizados. J. M. Fortuño et al. en *IyC*, abril de 2012.
Basura en el lecho oceánico. M. Demestre, R. Sáez y M. Masó en *IyC*, junio de 2014.

EDUCACIÓN

Historia de la medicina, una asignatura pendiente en la formación de los médicos

Los historiadores reivindican la importancia de esta disciplina en los estudios universitarios de ciencias de la salud y diseñan una propuesta educativa para mejorar la situación académica de la misma

JON ARRIZABALAGA

Un nuevo curso acaba de empezar en las facultades de medicina. A lo largo del año, los estudiantes ampliarán sus conocimientos, teóricos y prácticos, sobre anatomía, histología, biología celular, epidemiología, fisiología, genética, patología, microbiología... Todo lo que se supone que hay que saber para poder predecir, prevenir, diagnosticar y tratar las enfermedades humanas. Pero ¿qué lugar ocupan en esta formación las disciplinas humanísticas como la historia? ¿Es necesario que un médico las conozca? ¿En qué sentido pueden mejorar su actividad profesional?

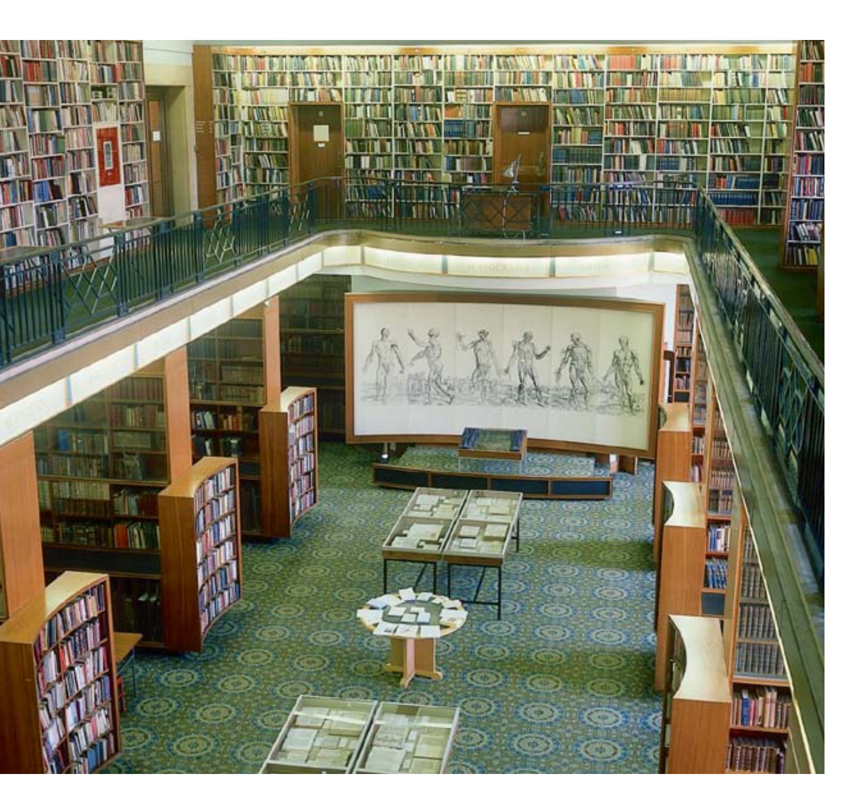
El lugar y el papel de la historia de la medicina en la formación médica han sido y siguen siendo objeto de recurrentes debates. Quienes defendemos su importancia, justificamos su presencia en los estudios universitarios de ciencias de la salud porque ofrece una visión integradora de las prácticas y los saberes sanitarios por encima de su fragmentación en diferentes especialidades, a la vez que revela la estrecha relación de las distintas formas de medicina con la cultura y la sociedad a la cual pertenecen. Asimismo, confiere al futuro médico una perspectiva singular, «desde fuera», sobre la salud, la enfermedad y la vulnerabilidad humanas, que refuerza su capacidad de reflexión crítica. Ello le permitirá comprender mejor, cada vez que atienda a un paciente, las variables en juego tras la queja que motive la consulta; más allá de la definición de unos síntomas orgánicos predominantes y del esclarecimiento de unas causas inmediatas del problema, podrá establecer en cada caso la dimensión antropológica y social de la enfermedad y el sufrimiento humanos. (Pensemos, por ejemplo, en las reacciones sociales que han suscitado en tiempos recientes enfermedades emergentes como el sida o el ébola. Estas, sin duda, se entienden mejor si se ponen en relación con las provocadas en un pasado más o menos lejano por enfermedades como la lepra, la peste y el mal venéreo.)

Pese al valor formativo de esta disciplina, su presencia en los programas educativos deja mucho que desear, sobre todo en la actualidad.

Reduccionismo e individualismo

La historia de la medicina comenzó a institucionalizarse en las universidades germánicas y centroeuropeas de finales del siglo XIX como legitimadora de la nueva medicina experimental y de laboratorio surgida del positivismo científico. Con mayor o menor fortuna, este modelo se difundió primero a otros centros europeos para saltar, a partir de los años treinta del siglo XX, a Norteamérica y extenderse también a otras regiones del planeta.

BIBLIOTECA WELLCOME, LONDRES





SALA DE LECTURA de la Biblioteca Wellcome, en 1983 (*izquierda*) y tras la última reforma (*derecha*). Esta institución londinense se considera emblemática por la riqueza de sus fondos y por sus continuos esfuerzos de renovación, al servicio de una visión de la historia de la medicina estimulante para los profesionales de las ciencias de la salud y atractiva también para públicos más amplios.

Desde los años ochenta, la acelerada transformación de la medicina contemporánea ha modificado la educación médica. Sin embargo, los cambios introducidos no siempre han derivado de una reflexión sosegada sobre los objetivos que deberían presidir la formación de los profesionales de la salud. A resultas de ello, el modelo educativo actual se vuelca con demasiada frecuencia en la adquisición mecánica de conceptos y procedimientos de intervención, en favor de una perspectiva biomédica marcadamente reduccionista e individualista. Ello va en detrimento de una orientación holística de la salud y la enfermedad humanas, integradora de sus factores psicológicos, sociales y ambientales, de una práctica clínica sustentada en la empatía hacia el paciente como humano sufriente, y del estímulo de la reflexión sobre los objetivos del grado en medicina y la función social de esta actividad profesional.

Una propuesta educativa

Con el propósito de mejorar este escenario académico, cuatro distinguidos profesores de historia de la medicina y de la ciencia (David S. Jones, de la Universidad Harvard; Jeremy A. Greene, de la Universidad Johns Hopkins; Jacalyn Duffin, de la Universidad Queen's, y John Harley Warner, de la Universidad Yale) han publicado en *Journal of History of Medicine and Allied Sciences* una propuesta docente de gran interés bajo el título «Making the case for history in medical education». Se trata de una propuesta extensible no solo al conjunto de universidades estadounidenses, sino también a las del resto del mundo y, muy en particular, las europeas. De ahí su valor.

Sus autores comienzan exponiendo un buen número de razones en defensa de la utilidad de la historia de la medicina en la educación médica. Nos recuerdan que la enfermedad constituye una realidad históricamente contingente, cuyo peso fluctúa en el transcurso del tiempo; que el conocimiento médico se genera a través de procesos sociales, económicos y políticos específicos, de manera que los tratamientos médicos y su justificación varían en distintas sociedades y momentos históricos; que las desigualdades en salud han persistido durante milenios en relación tanto a la «carga de enfermedad» en los distintos grupos humanos como a su acceso a los tratamientos; que la educación, investigación y práctica médicas se ven afectadas por disparidades de estatus y poder; que, para bien o para mal, la medicina ha influido en el modo en que históricamente se han entendido y manejado los conceptos de raza, etnicidad, género, sexualidad y clase social; que las tecnologías médicas forman parte de sistemas sociales más amplios, dentro de los cuales han surgido hospitales, facultades de medicina y sistemas de atención sanitaria a resultas de una larga secuencia de conflictos y compromisos políticos; que los roles y estructuras profesionales de los médicos, los contextos sociales de su ejercicio y los conflictos éticos suscitados en la investigación y práctica médicas han cambiado en el transcurso del tiempo y, en definitiva, que la medicina es una de las múltiples respuestas sociales a la enfermedad en individuos y poblaciones, y que su rol social es histórica y culturalmente variable.

La propuesta de estos profesores no elude ni la diversidad de formas de inserción de la disciplina en los programas de formación, ni el requisito de la «enseñanza por competencias» impuesto como filosofía hegemónica y guía de la mayoría de los sistemas educativos [*véase* «La educación científica del siglo XXI: Retos y propuestas», por Neus Sanmartí Puig e Iván Marchán Carvajal; Investigación y Ciencia, octubre 2015]. La hacen pivotar en torno a cinco grandes ejes temáticos: la enfermedad, la medicina, las desigualdades en salud, los sistemas de asistencia sanitaria, y los conflictos éticos en la investigación y la práctica médicas.

La situación en España

En España, la historia de la medicina afianzó su presencia curricular en los estudios de medicina a partir de los años setenta del siglo pasado. En fecha más reciente, otras titulaciones en ciencias de la salud también han introducido la historia en su programa.

Con todo, el papel que desempeñan la historia y otras disciplinas humanísticas en la educación de los futuros profesionales de la salud no siempre se reconoce, a resultas de la orientación marcadamente utilitarista y tecnocrática que impregna estos estudios universitarios. Particularmente preocupante resulta la persistencia de una institucionalización deficitaria de la historia de la medicina en no pocas facultades de medicina españolas, algunas en posiciones destacadas dentro de la clasificación española de la excelencia.

En estas circunstancias, no está de más subrayar la necesidad de que las autoridades académicas aseguren con diligencia la dignidad y utilidad de la historia de la medicina en la educación médica, recurriendo a los procedimientos regulares previstos para dotar nuevas plazas de profesores titulares, cubrir las vacantes que se produzcan en el futuro, o ambos, con profesionales debidamente formados y dispuestos a dedicarse plenamente a la docencia e investigación en la disciplina. No falta este capital humano entre las nuevas generaciones; todo lo contrario. Pero nuestro país parece querer dilapidarlo cuando les aboca a la precariedad o al exilio científico a otros países dentro y fuera de Europa, cuando no a un definitivo desistimiento profesional. Un mal desgraciadamente generalizado en cualquier área dentro del actual sistema de ciencia español, pero sobre todo en las ciencias humanas y sociales.

Si queremos que nuestros futuros médicos adopten un espíritu crítico, abierto y reflexivo hacia su profesión, un espíritu que impida su deslumbramiento hasta la ceguera por los innegables logros de las técnicas biomédicas y cuya guía de conducta vaya más allá del mero «profesionalismo» tradicional, la historia, junto a otras disciplinas humanísticas y sociomédicas (antropología, sociología y bioética, entre otras), debe desempeñar un papel crucial en su formación. Estas disciplinas realzan la importancia no solo de que su comportamiento se ajuste a las nociones y valores de ciudadanía y contrato social propios de una sociedad democrática avanzada, sino también de que actúen como agentes responsables en la salud comunitaria.

—Jon Arrizabalaga
Institución Milà i Fontanals-CSIC
Barcelona

PARA SABER MÁS

Locating medical history. The stories and their meanings. Dirigido por Frank Huisman y John Harley Warner. The Johns Hopkins University Press, Baltimore-Londres, 2004.

El papel de la historia de la medicina. Rosa Ballester en *Medicina y humanidades*, dirigido por Diego Gracia, págs. 77-89, RANM-FRANM, Madrid, 2011.

Making the case for history in medical education. David S. Jones et al. en *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, vol. 70, n.º 4, págs. 623-652, 2015.

FÍSICA DE PARTÍCULAS

Un nuevo método para estudiar las oscilaciones de neutrinos

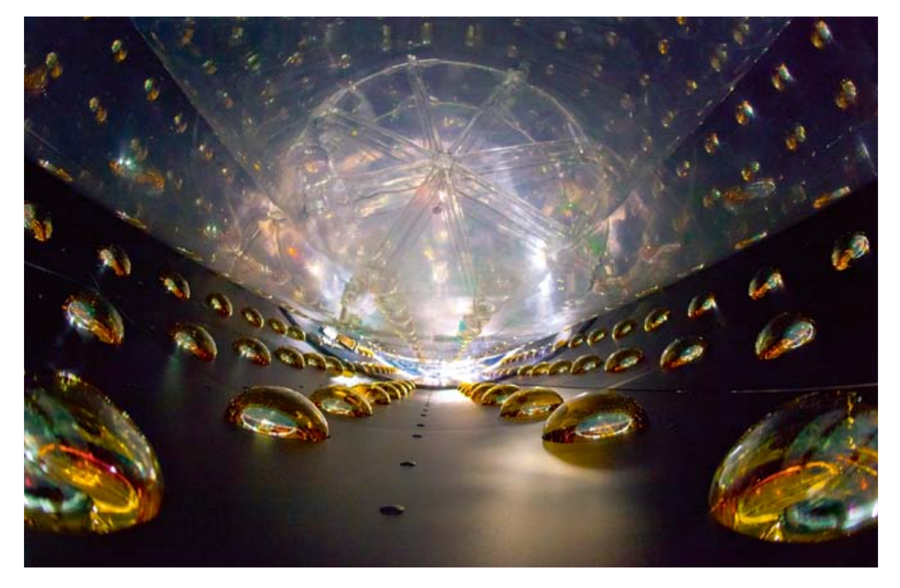
El experimento Daya Bay logra la medición más precisa hasta la fecha de un parámetro clave en física de neutrinos. El resultado podría ayudar a entender la asimetría entre materia y antimateria en el universo

HELEN O'KEEFFE

La pregunta de por qué el universo se compone de materia y apenas contiene antimateria lleva décadas intrigando a los físicos. Al respecto, estudiar las propiedades de las partículas elementales más esquivas que se conocen, los neutrinos, podría ayudar a resolver la cuestión. Existen tres tipos, o «sabores», de neutrino: el electrónico, el muónico y el tauónico. Al desplazarse, estas partículas pueden «oscilar», o cambiar espontáneamente de sabor. Si la manera en que oscilan los neutrinos difiere ligeramente del modo en que lo hacen los antineutrinos, dicho fenómeno podría haber generado la abundancia de materia observada en el cosmos.

Hasta la fecha se han diseñado varios experimentos para estudiar esas oscilaciones y determinar los parámetros que las definen. Estos son las diferencias de masa entre los neutrinos (un neutrino que se propaga libremente tiene asociada una de tres masas posibles, denotadas m_1, m_2 y m_3) y los «ángulos de mezcla», tres cantidades que indican en qué grado se combinan los neutrinos de masas m_1, m_2 y m_3 para dar lugar a los diferentes sabores. En un artículo publicado hace unos meses en *Physical Review D*, los miembros del experimento chino Daya Bay han referido un nuevo método de detección que les ha permitido obtener el valor más preciso hasta la fecha de θ_{13}, el ángulo de mezcla entre los neutrinos de masas m_1 y m_3. Este resultado será de gran ayuda en nuestro empeño por entender la predominancia de la materia en el universo.

Emplazado a unos 55 kilómetros al noreste de Hong Kong, el experimento Daya Bay se compone de ocho detectores idénticos situados a entre 360 metros y 1,9 kilómetros de las centrales nucleares de Daya Bay y Ling Ao. Estos reactores emiten cada segundo 3500 millones de billones de antineutrinos electrónicos. De ellos, un pequeño número interacciona con las 20 toneladas de líquido centellador dopado con gadolinio que contiene cada detector. En concreto, los antineutrinos electrónicos interaccionan con los protones de las moléculas del líquido, lo que genera positrones y neutrones por medio de un proceso conocido como desintegración beta inversa.



DETECTORES DE NEUTRINOS: Interior de uno de los detectores del experimento Daya Bay. Los tubos fotomultiplicadores (*esferas*) amplifican la señal desencadenada por los neutrinos al interaccionar con el líquido centellador.

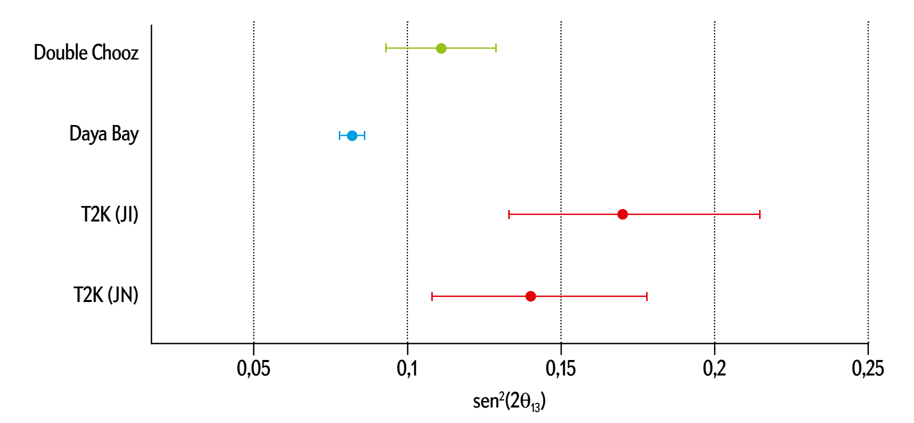
CORTESÍA DE ROY KALTSCHMIDT/LABORATORIO NACIONAL LAWRENCE BERKELEY

El líquido centellador emite luz cuando absorbe partículas energéticas. Tras cada desintegración beta inversa, los positrones generan un destello, el cual es registrado por un sistema de tubos fotomultiplicadores que amplifican la luz incidente. Al mismo tiempo, cuando un neutrón es capturado por un núcleo de gadolinio, el proceso da lugar a un estado excitado que, poco después, se relaja y emite rayos gamma con una energía de 8 megaelectronvoltios (MeV). Esos rayos gamma interaccionan con el líquido y generan otro pulso de luz, típicamente entre decenas y centenas de microsegundos después del primero. Así pues, la observación de estas dos señales lumínicas, sincronizadas y con propiedades específicas, permite confirmar la detección de un antineutrino electrónico.

Ruido de fondo

Otros experimentos en reactores usan el mismo proceso de captura por gadolinio para detectar antineutrinos. Sin embargo, la colaboración Daya Bay ha empleado un método adicional e independiente para identificar los neutrones producidos mediante desintegración beta inversa. Aunque dichos neutrones son absorbidos en su mayor parte por el gadolinio, también pueden ser capturados por alguno de los átomos de hidrógeno presentes en el líquido. Cuando eso ocurre, se genera deuterio y se emite un rayo gamma menos energético, de 2,2 MeV. Este último resulta difícil de identificar, ya que en estos experimentos se producen con frecuencia otros rayos gamma con energías inferiores a 4 MeV como consecuencia de los procesos naturales de desintegración de otros radioisótopos, como el potasio 40 (que emite a 1,4 MeV) o el talio 208 (que lo hace a 2,6 MeV).

Al presentar una energía similar a los rayos gamma emitidos en la captura de neutrones por parte del hidrógeno, la



MEZCLA DE MASAS: Un neutrino que se propaga libremente tiene asociada una de tres masas posibles, denotadas m_1, m_2 y m_3. El parámetro conocido como «ángulo de mezcla» θ_{13} determina en qué grado se combinan los neutrinos de masas 1 y 3 para dar lugar a los distintos «sabores», o tipos de neutrino. Esta gráfica muestra los valores de θ_{13} (expresados en función del seno y con sus respectivos márgenes de error) obtenidos en los últimos años por los experimentos Double Chooz, en Francia, Daya Bay, en China, y T2K, en Japón. Este último arroja dos valores, ya que la mejor aproximación para θ_{13} depende del orden que se suponga para las diferentes masas: $m_3 > m_2 > m_1$ (jerarquía normal, JN), o $m_2 > m_1 > m_3$ (jerarquía invertida, JI). Gracias a una nueva técnica de análisis, el experimento Daya Bay ha obtenido hace poco el valor más preciso hasta la fecha de θ_{13}.

señal desencadenada por el antineutrino resulta difícil de aislar. Ello requiere minimizar la radiactividad natural del detector y tenerla bajo control, para lo cual es necesario purificar el líquido, emplear materiales poco radiactivos y trabajar con rigurosa limpieza. Pero, por más precauciones que se tomen, nunca es posible eliminar por completo la radiactividad natural del detector, lo que limita la precisión de los experimentos.

Identificar la desintegración beta inversa desencadenada por los antineutrinos requiere observar dos señales lumínicas separadas temporalmente entre 1 y 1400 microsegundos. Esta sincronización permite descartar otros destellos provenientes de la radiactividad de fondo que no estén correlacionados en el tiempo. La colaboración Daya Bay ha logrado estimar la tasa de coincidencias accidentales a partir de la información almacenada en sus detectores. Al restar dicha cantidad del número total de coincidencias registradas, se obtiene el número de ellas que sí guardan una correlación temporal.

Con todo, los investigadores necesitaron varias correcciones adicionales para descartar otras coincidencias espurias que sí están correlacionadas en el tiempo. La más relevante de ellas es la debida a la interacción entre los rayos cósmicos y el carbono 12 del líquido centellador, un proceso que genera litio 9 y helio 8. Estos isótopos inestables causan la emisión de un electrón seguida de una captura neutrónica, lo que resulta indistinguible de la señal desencadenada por la desintegración beta inversa.



Neutrinos evanescentes

Al tomar en cuenta todas estas señales de fondo, los investigadores emplearon el número resultante de coincidencias genuinamente correlacionadas en el tiempo para deducir el flujo de antineutrinos electrónicos en el detector. Dicha cantidad resultó ser menor que la inferida para el flujo en los reactores; por tanto, los antineutrinos electrónicos que faltaban tenían que haberse transmutado en antineutrinos de otros sabores, no detectables en el experimento.

El análisis de Daya Bay ha permitido obtener una medida independiente del número de interacciones de antineutrinos electrónicos en los detectores, lo que constituye una importante verificación de las mediciones previas del ángulo de mezcla θ_{13}. Pero, además, la combinación de los resultados relativos a la captura por hidrógeno y por gadolinio ha proporcionado el valor de θ_{13} más preciso obtenido hasta la fecha: $\text{sen}^2(2\theta_{13}) = 0{,}082 \pm 0{,}004$, lo que mejora en un 8 por ciento la precisión con respecto a los valores calculados hasta ahora.

Dicho resultado es similar al obtenido en otros experimentos con reactores y, también, en aquellos que estudian los cambios de sabor a lo largo de grandes distancias. Un análisis más detallado revela que existen pequeñas discrepancias entre las distintas estimaciones de θ_{13}. Los experimentos Double Chooz, en Francia, y T2K, en Japón, sugieren valores algo mayores de este parámetro, si bien la diferencia no resulta significativa.

Las mediciones de θ_{13} revisten especial interés para estudiar la predominancia de materia en el cosmos debido a su relación con otro de los parámetros que determinan las oscilaciones de neutrinos: δ_{CP}. Si esta cantidad fuese distinta de cero, implicaría que los neutrinos violan la simetría de paridad y conjugación de carga, según la cual las leyes de la física deberían permanecer invariantes cuando cada partícula se reemplaza por la imagen especular de su antipartícula. Si los neutrinos no respetasen esta simetría, ello podría explicar la existencia de un universo dominado por la materia.

La combinación de los experimentos en reactores y los de detección a largas distancias parece sugerir que δ_{CP} es, en efecto, distinto de cero. Sin embargo, tales indicios están aún lejos de alcanzar la significación estadística necesaria para proclamar un descubrimiento. La próxima generación de experimentos intentará obtener la primera medición directa de δ_{CP} y, con ello, ayudarnos a entender por qué vivimos en un universo compuesto casi exclusivamente por materia.

—Helen O'Keeffe
Departamento de física
Universidad de Lancaster

Artículo original publicado en *Nature* 533, págs. 327-328, 2016.
Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2016

Con la colaboración de nature

PARA SABER MÁS

New measurement of θ_{13} via neutron capture on hydrogen at Daya Bay. Colaboración Daya Bay en *Physical Review D*, vol. 93, art. n.º 072011, abril de 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

En busca de la última transformación de los neutrinos. Inés Gil Botella, Pau Novella Garijo y Marco Cerrada Canals en *IyC*, diciembre de 2011.

Mensajeros fantasmales de nueva física. Martin S. Hirsch, Heinrich Päs y Werner Porod en *IyC*, junio de 2013.



40

ANIVERSARIO

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA CUMPLE CUARENTA AÑOS

En octubre de 1976, hace exactamente cuarenta años, llegaba a los quioscos el primer número de *Investigación y Ciencia*. Era el primer brote de lo que se convertiría en una de las revistas de divulgación científica más sólidas del mundo hispanohablante. Nacía en un entorno despoblado: el panorama divulgativo en español era entonces prácticamente un desierto; pocas formas había de conocer lo que se estaba cociendo en los laboratorios y centros de investigación internacionales. Hoy, en cambio, ese desierto se ha convertido en un vergel, donde florecen una gran variedad de iniciativas divulgativas de calidad. *Investigación y Ciencia* cumple, pues, los cuarenta en buena compañía.

Para celebrar esta efeméride, hemos reunido a los fundadores de la revista y al equipo actual para que nos expliquen cómo *Investigación y Ciencia* nació gracias al tesón de quien ahora llamaríamos un «emprendedor», los obstáculos que debió superar para poder publicarse, la visión editorial que ha marcado su trayectoria, los frutos que ha cosechado y los retos que afronta en la actualidad. También hemos invitado a *Scientific American*, la revista matriz (que el año pasado celebró su 170.º aniversario), para que nos cuente cómo pasó de agencia de patentes a embajadora de la ciencia global. A la fiesta se han añadido algunos de nuestros colaboradores (autores, traductores y asesores) para hablar de su relación con la revista. Y, por último, no podía faltar la voz de nuestros lectores más entusiastas; las páginas que siguen ofrecen una pequeña selección de los numerosos mensajes de felicitación que han llegado a la redacción a lo largo de las últimas semanas.

Además de organizar un encuentro festivo y en familia, hemos pensado que este aniversario era una buena ocasión para detenernos a reflexionar sobre cómo ha evolucionado el panorama de la comunicación científica en estos cuarenta años y qué significa comunicar la ciencia en el mundo actual [*véase* «Comunicar la ciencia en el siglo xxi», pág. 28]. Para ello hemos reunido a un grupo de expertos que, a lo largo de estos decenios y a través de diferentes medios (prensa, televisión, revistas, libros, blogs, etcétera), han logrado que la ciencia forme parte de la vida de todos —no solo de quienes se dedican a ella— y con su labor han contribuido a enriquecer la sociedad. Catorce comunicadores de perfiles muy variados, desde periodistas a científicos, han compartido con nosotros su forma de entender la profesión, así como su visión sobre los retos y logros de la misma.

Confiamos en que este mosaico de experiencias, recuerdos y deseos os animen a seguir leyendo *Investigación y Ciencia* durante muchos años más.

—La redacción

El mejor regalo de cumpleaños



Laia Torres Casas
Directora editorial
de *Investigación y Ciencia*

«40 años acercándote la mejor ciencia.» Este ha sido el lema de nuestro cuadragésimo aniversario. Resume en pocas palabras el espíritu y propósito de *Investigación y Ciencia*: tender puentes entre los mejores investigadores y las mentes más inquietas, abrir vías para que los amantes de la ciencia puedan seguir de cerca el desarrollo de la misma y arrojar luz sobre las múltiples dimensiones del conocimiento científico, fruto de una de las empresas humanas de mayor complejidad y, quizá por ello, más fascinantes.

Ser fieles a esta visión fundacional, ser «auténticos», nos ha permitido llegar a los cuarenta con una salud más que envidiable. Ha sido nuestra fórmula de la longevidad. Mantener el rigor del primer día, luchar cada «pelota», cada palabra, cada elemento gráfico. Guiarnos por el faro de la relevancia científica —que no siempre coincide con el de la relevancia mediática—, desoír el canto de las sirenas del «todo por la audiencia» y concentrarnos en la labor y el criterio de los mejores investigadores. Esto es, de hecho, lo que los lectores esperan de nosotros, y lo que vamos a seguir haciendo con la misma ilusión y dedicación del primer día.

Investigación y Ciencia se mantiene en plena forma. Pero ello no significa que el camino sea fácil; no nos engañemos. Además de la crisis económica global, los medios de comunicación deben afrontar los numerosos retos que ha planteado ese avance revolucionario llamado Internet: fundamentalmente, desarrollar modelos de negocio y formatos alternativos que se adapten a los nuevos hábitos de consumo.

Además del éxito editorial, a lo largo de estos decenios *Investigación y Ciencia* ha cosechado otros frutos. No son tan fáciles de medir como la tirada o las visitas a nuestra página web, pero no por ello revisten menor importancia, pues atañen a las dimensiones humana y social del proyecto. Me refiero al respeto que la revista genera entre los autores y al entusiasmo que despierta entre los lectores. Sea cual sea el rango profesional de los numerosos investigadores a los que cada mes invitamos a divulgar sus trabajos, desde el becario predoctoral al catedrático de universidad, todos nos abren las puertas y se muestran encantados de colaborar —si no lo hacen suele ser por falta



Siento una enorme satisfacción y es un honor escribir estas líneas para conmemorar el 40.º cumpleaños de *Investigación y Ciencia*. El motivo es muy sencillo. Mi vida actual es 24 horas al día investigación y ciencia. Y cuando reflexiono sobre por qué es así, mis pensamientos se trasladan a mi adolescencia, y me emociono al recordar cómo devoraba con fruición todos los artículos, ya fueran de biología o física, de matemáticas o medicina, escritos en los primeros números de la revista. Tal era mi afición que incluso me desplazaba ex profeso a otra ciudad, andando casi una hora y media, solo para comprar un ejemplar —¡al principio la publicación no se vendía en mi localidad!

Posiblemente mi falta de formación me impedía entonces entender completamente muchos de los contenidos. Pero eso es lo de menos —tampoco entiendo ahora todo lo que se publica en otras revistas de mi área de investigación—. Lo que realmente importa es que la lectura de *Investigación y Ciencia* despertó mi pasión por la ciencia. Pienso en Antonio Machado cuando decía aquello de «caminante no hay camino, sino estelas en la mar». *Investigación y Ciencia* delineó para mí esas estelas iniciales, que posteriormente han guiado mi camino científico. Mi indeleble gratitud hacia todas las personas que en su día estuvieron detrás de la revista, así como hacia los que ahora continúan. Un abrazo de corazón.

Juan Carlos Izpisúa Belmonte
Profesor Roger Guillemin del Instituto Salk
de Estudios Biológicos en La Jolla, California
*Autor de varios artículos publicados
en* Investigación y Ciencia

Mi primer contacto real con la ciencia *fue con* Investigación y Ciencia *hace 37 años. El primer artículo que leí (1979) fue «La estructura de la hemoglobina y el transporte respiratorio», de Max F. Perutz, nóbel de química. Me maravilló entender de manera clara los complejos temas manejados por los científicos. Desde entonces y hasta ahora me apasioné por la revista y por la ciencia. Mi novia de aquella época, que ahora es mi esposa, se disgustaba porque prefería gastar mi poco dinero en* Investigación y Ciencia *que en invitarla a comer un helado o a ir al cine.*

César Augusto Arango-Davila (lector)
Santiago de Cali, Colombia

A principios del año 1982 dudaba entre estudiar física o matemáticas, hasta que cayó en mis manos un ejemplar de *Investigación y Ciencia*. Douglas Hofstadter, en la columna «Temas Metamágicos» de aquel número, escribía sobre el gato de Schrödinger, Borges, los universos paralelos y otras cuestiones fascinantes en donde se encuentran la mecánica cuántica y la filosofía. Pocos meses más tarde, me matriculaba en la facultad de física. Aquel artículo fue determinante en mi trayectoria académica. Pero probablemente esta historia no sea muy original: *Investigación y Ciencia* ha desempeñado un papel crucial, durante décadas, en el despertar de cientos de vocaciones científicas en España y Latinoamérica.

Casi veinte años más tarde, en agosto de 2001, José María Valderas me ofreció continuar la columna de «Juegos Matemáticos»; la misma que, en la edición internacional de *Scientific American* y con nombres ligeramente distintos, había estado a cargo de Martin Gardner, Douglas Hofstadter e Ian Stewart. No sé si logré mantener el nivel de mis predecesores, pero lo que sí es cierto es que aprendí muchas cosas escribiendo los «Juegos» desde 2001 hasta 2008. Durante esos años espero haber contribuido, aunque sea de forma modesta, a esa labor imprescindible y única que *Investigación y Ciencia* realiza en el mundo hispanohablante: poner la ciencia al alcance de todos sin perder rigor ni profundidad, conectar a los investigadores con los ciudadanos interesados en ciencia —sobre todo con los más jóvenes— y atraerlos hacia uno de los oficios más divertidos y que más contribuyen al desarrollo de una sociedad, el de investigador científico.

En cualquier caso, *Investigación y Ciencia* ha sido primero mi referencia y luego mi casa. En realidad, creo que ha sido la casa de todos los científicos y de los amantes de la ciencia. Gracias por estos cuarenta años. Espero, por el bien de la ciencia y por el bien de nuestras sociedades, que sigáis despertando vocaciones durante, al menos, cuarenta años más.

Juan M. R. Parrondo
Universidad Complutense de Madrid
Autor de la sección «Juegos Matemáticos» de 2001 a 2008

de tiempo, que no de ganas—. Este reconocimiento por parte de los profesionales de la ciencia viene a ser para nosotros como un sello de calidad, una suerte de «certificado ISO», que nos conceden porque saben que respetamos profundamente su labor. Gracias a todos ellos por su complicidad.

En cuanto a los lectores, les aseguro que contamos con un público de lo más fiel y entusiasta. No son pocos los que conservan encuadernada —¡y alguno incluso asegurada!— la hemeroteca entera, que suma ya, con este, 481 números. Gracias a todos los que nos leen y, con ello, se informan y aprenden. Los numerosos mensajes de felicitación que han llegado a la redacción durante las últimas semanas, algunos de los cuales reproducimos aquí, nos demuestran que *Investigación y Ciencia* sigue despertando vocaciones científicas, que es una gran aliada de profesores y estudiantes de ciencias (de bachillerato a la universidad), que proporciona un gran placer intelectual a los más curiosos y ávidos de conocimiento, que amplía horizontes y que motiva la lectura. Pensando en todas estas muestras de felicitación y agradecimiento, el lema de nuestro aniversario bien podría haber sido este otro: «40 años disfrutando de la mejor ciencia». Sin duda, el mejor regalo de cumpleaños. IyC

Scientific American, de agencia de patentes a embajadora de la ciencia global

Mariette DiChristina
Directora editorial
de *Scientific American*

La ciencia es un motor de la prosperidad humana. Gracias a ella hacemos descubrimientos y los aplicamos a nuestros problemas más difíciles. Las políticas más importantes que se deben adoptar hoy, se trate de la energía, de gestionar una demografía cambiante o de vivir de forma sostenible en un mundo finito, requieren un conocimiento básico de la ciencia. Podemos estar agradecidos de tener revistas como *Investigación y Ciencia*, con su maravillosa tradición de ofrecer una visión del mundo basada en pruebas.

¿Siente quizá curiosidad por saber más sobre la revista matriz de *Investigación y Ciencia*, *Scientific American*, que se traduce hoy a catorce lenguas de todo el mundo? Forma parte de Springer Nature. Cuenta con más de siete millones de lectores en sus plataformas impresa y digital. Y se distingue de las demás revistas de divulgación en que se vale regularmente de expertos como autores de sus contenidos (más de 150 premios nóbel han escrito para ella más de 250 artículos).

Scientific American es la revista que más tiempo lleva publicándose en Estados Unidos de forma ininterrumpida. Se fundó el 28 de agosto de 1845 —¡en agosto de 2015 celebró su 170.º aniversario!—. Durante más de medio siglo fue un semanario. Como además ha sacado suplementos durante decenios, su archivo digital atesora más de 150.000 artículos. Hubo incluso una edición traducida al castellano en el siglo XIX. Aunque solo duró un par de décadas, su existencia ofrece una

muestra de la importancia que la presencia internacional ha tenido siempre para *Scientific American*, tal y como la tiene para la ciencia misma.

Nacida cuando la Revolución Industrial se extendía por los jóvenes Estados Unidos, prometía a los lectores que sería «la abogada de la industria y la empresa, y la revista de las mejoras mecánicas y de otras índoles». Hizo la crónica del progreso de la creatividad y de los descubrimientos humanos mientras la ciencia moderna y nuestra joven nación se desarrollaban a la vez. En la primera página del primer número aparecía un vagón de ferrocarril mejorado aerodinámicamente. La redacción elogiaba también el telégrafo de Morse, al que llamaba «esta maravilla de la época», y ofrecía una lista de patentes, grabados originales de nuevos inventos y artículos sobre ciencia.

El fundador, Rufus Porter, concibió más de cien inventos, de los que patentó alrededor de la cuarta parte. Entre ellos estaba el mecanismo del revólver, que vendería a Colt. Pero Porter no fue solo editor y director de una revista e inventor. También pintaba. No se podía estar quieto. Apenas diez meses después de fundar *Scientific American*, la vendió.

Los compradores fueron Orson Desaix Munn y Alfred Ely Beach. Casi nada más empezar, ya les estaban asediando los inventores que querían ayuda. Pedían que se les orientase y apoyase en sus patentes y ofrecían pagar a cambio.

Munn & Company abría en 1850 el primer despacho de su agencia de patentes. Para 1859 tenía delegaciones en Nueva York, Washington, Londres, París y Bruselas. Hacia 1860, un tercio de las patentes concedidas en Estados Unidos se obtenían con la ayuda de *Scienti-*


SCIENTIFIC AMERICAN.

THE ADVOCATE OF INDUSTRY AND ENTERPRISE, AND JOURNAL OF MECHANICAL AND OTHER IMPROVEMENTS.

IMPROVED RAIL-ROAD CARS.

Primera página del primer número de *Scientific American*, publicado el 28 de agosto de 1845.

Investigación y Ciencia me ha brindado la oportunidad de dedicarme a una de las actividades profesionales que me resultan más estimulantes: la traducción científica. Como geólogo y traductor es un placer poder trabajar en el ámbito de la divulgación y la comunicación científica. La revista ocupa un lugar especial en mi trayectoria laboral, ya que comencé a realizar mis primeros encargos para ella poco después de haber decidido dar el salto de la investigación científica a la traducción. Quisiera felicitar a los miembros de la redacción por su buen trato y por la profesionalidad que han demostrado en estos seis años de colaboración. Y lo mejor de todo es poder estar trabajando para una publicación que ya leía asiduamente en mis tiempos de estudiante. Enhorabuena por los cuarenta años y por todos los venideros.

Fabio Teixidó
Geólogo y traductor de Investigación y Ciencia

Fui lector de *Scientific American* *hasta que apareció la edición española. Adquirí los primeros números por compra directa. Aunque ejercía de microbiólogo en una farmacéutica española, investigadores reunidos en monográficos tan estupendos como el de evolución o dinámica terrestre me ayudaron a realizar estudios que desembocaron en la obtención de mi tesis doctoral o en el ingreso en el Cuerpo de Catedráticos de Bachillerato. Nunca ha dejado la revista de proporcionarme nuevos descubrimientos.*

Roberto Burgos Muñoz (lector)
Alcobendas, Madrid

De joven mendigaba por las bibliotecas *en busca del* Investigación y Ciencia *del mes. En cuanto pude permitírmelo me hice suscriptor. Después de la lectura de cientos de artículos, algunos para enmarcar, de la mejor ciencia, puedo decir con orgullo que, a lo largo de mi vida, la revista ha sido uno de mis principales maestros. Y que lo seguirá siendo, porque estoy seguro de que la calidad de los artículos, el cuidado de la edición y la impecable traducción se mantendrá al menos por 40 años más. Les doy las gracias por ello.*

Julián Salas Camarero (lector)
Madrid

Descubrí *Investigación y Ciencia* en los quioscos *del centro de Valencia. Era octubre de 1976. Comenzaba un nuevo curso, quinto de biológicas, y tenía auténtica hambre de información científica en español y de calidad. ¡Qué pobre lo que había entonces! Desde ese momento y vía suscripción me ha acompañado fielmente. Representa una auténtica alta divulgación científica y es una herramienta de enorme utilidad para mantener una visión amplia y global de la ciencia. Como profesor de ciencias me ha permitido estar al día, y como enamorado de la ciencia, mantener viva la llama. Felicidades y gracias.*

Luis F. Martí (lector)
Valencia

Desde finales de la década de los sesenta he sido suscriptor, y atento lector, de *Scientific American*. Cuando en un cierto momento supe de la publicación de *Investigación y Ciencia*, me pareció una aventura extraordinaria —pero no por ello cancelé mi suscripción a la edición americana, que acabo de renovar por tres años.

Pronto empecé mi relación con la nueva revista, la mayor parte de las veces traduciendo textos, insertando algún recuadro o escribiendo un artículo. Las primeras traducciones las hacía con mi máquina de escribir —aquel «ordenador con impresora incorporada», que diría alguien de menos de treinta años— y con un papel pautado que me mandaba la redacción. Más adelante, les daba un disquete de los de más de cinco pulgadas. Las últimas ya las mandaba por correo electrónico. Las mayores discusiones eran sobre la traducción de ciertos términos. (Nunca suscribí que al quark *top* le llamaran *cima*, ni al *bottom*, *fondo*. Pero la cosa venía de más lejos, de cuando no me dejaban usar el *up* y el *down*, ni teorías *gauge*.)

Finalmente, un día me pidieron que escribiera una bitácora en la plataforma SciLogs. Lo titulé *Perspectiva de física y universidad*. Esto me costó mucho más; tanto, que pronto lo dejé. Sin embargo, quizá por un afán de retornar a la juventud, hace poco lo he retomado con la mejor de las intenciones.

Ramon Pascual
Instituto de Física de Altas Energías
Universidad Autónoma de Barcelona
Colaborador y asesor de Investigación y Ciencia *desde su fundación*

fic American. Para 1924, Munn & Company había preparado 200.000 solicitudes de patente. Una de ellas fue la del metro neumático del propio Beach. El prototipo que exhibió en 1870 fue el primer metro de Manhattan; se podía subir a él y recorrer un trecho, para asombro de las masas. Creó también un nuevo diseño de máquina de escribir y muchos otros inventos.

El inventor Thomas Edison, que contaba que siendo todavía un chico caminaba cinco kilómetros para conseguir cada semana su ejemplar, fue un visitante asiduo de las oficinas de *Scientific American*. En 1877, los miembros de la redacción fueron los primeros en ver uno de sus nuevos inventos: el fonógrafo. La máquina preguntó: «¿Cómo están? ¿Les gusta el fonógrafo?». Alfred Beach ayudó a Edison a solicitar la patente, como había hecho con Alexander Graham Bell, Samuel F. B. Morse y miles más. En cuanto a Munn & Co., ¡siguió siendo la propietaria de la revista durante cien años!

En los años cuarenta del siglo XX, sin embargo, la revista vivió tiempos difíciles. Dennis Flanagan y Gerard Piel la compraron en 1948, con otro inversor, y la rehicieron, dándole la forma que más o menos tiene hoy. Piel creía que el mundo debía participar en la ciencia y compartir sus beneficios. Como una especie de embajador de buena voluntad de la ciencia, buscó asociados internacionales. *Scientific American* publicó una edición en la antigua Unión Soviética y expandió su cartera internacional: hace más de treinta años que cuenta con ediciones en Alemania, Italia y España.

Hay muchas cosas que no les he contado. No les he hablado de cuando publicamos en 1881 un artículo de Louis Pasteur sobre las vacunas. O de cuando H. G. Wells escribió sobre el futuro en 1904. O de que el Gobierno de Estados Unidos censuró *Scientific American* cuando Hans Bethe escribió sobre la bomba H en 1950. O de que Einstein escribió sobre su última teoría en 1951. O de que Salk explicó la vacuna de la polio en 1955. Y Carl Sagan, en 1975, la búsqueda de extraterrestres. Y Robert Gallo, en 1988, el sida.

La lista sigue. Al reflexionar sobre la historia de *Scientific American* e *Investigación y Ciencia* como importantes comunicadoras globales del desarrollo de la investigación, no puedo esperar a ver qué asombrosas innovaciones cubriremos para el mundo de mañana. IyC

Los orígenes de *Investigación y Ciencia*



Francisco Gracia
Fundador
de *Investigación y Ciencia*

Resulta sorprendente comprobar cuán profundamente han cambiado tantas cosas en solo cuarenta años. Los primeros números de *Investigación y Ciencia* se compusieron en bloques de plomo mediante linotipias y se imprimieron por pliegos en máquinas que hoy son piezas de museo. Se diría que la principal diferencia la constituye el rango ocupado por la informática en ambas épocas. El hoy día omnipresente ordenador personal era entonces completamente desconocido; faltaba todavía un lustro para que hiciera su aparición. Los ordenadores eran raros instrumentos empresariales o fabriles. Pronto la composición del texto pasó a realizarse mediante ellos, gracias a la fotocomposición, no sin problemas. También la gestión de las suscripciones y los procesos administrativos y contables se realizaban entonces con la ayuda de máquinas no electrónicas, lo que hoy se conoce como «manualmente».

Tal era el estado general de las artes gráficas y administrativas, y nada de esto impedía la publicación de millones de ejemplares de libros y revistas por todo el mundo. Tampoco el hecho de que solo uno o dos pliegos de la revista entera se imprimiesen a todo color impedía que se plasmase fielmente el peculiar estilo expositivo que caracterizaba desde hacía varios decenios a *Scientific American*, consistente en el decurso paralelo del texto y las ilustraciones de cada artículo, en armonía y complemento cuidadosamente preparados. Luego vendría la exuberancia del color en todas las páginas y el predominio de las tomas fotográficas sobre los esquemas, no siempre con indiscutible ganancia de eficacia pedagógica o cantidad de información transmitida.

En realidad hubo muy pocos obstáculos a la realización del proyecto una vez formulado. Los dos socios implicados, *Scientific American* y Editorial Labor, lo asumieron con convicción y lograron rápidamente un acuerdo que habría de perdurar inalterado durante muchos años. La verdad es que *Investigación y Ciencia* hubiera podido nacer un año antes de lo que lo hizo, pues todo estaba preparado para ello, si no hubiese sido por un inconveniente: la legislación de la época prohibía la existencia de socios extranjeros en las empresas editoriales españolas, mientras que ambas partes consideraban rasgo esencial del proyecto que *Scientific American* interviniese como socio activo de la empresa editora y no solo como licenciante. Los rápidos cambios institucionales y normativos que se produjeron en España por entonces pronto eliminaron tal dificultad.

No fue tan fácil resolver el único problema decisivo para determinar el buen fin de la empresa: ¿cómo respondería el público español a la nueva publicación? La casi total falta de publicaciones similares en el pasado editorial reciente hacía difícil formarse una idea del número de ejemplares que cabía esperar vender y de los que había que manufacturar. Para tratar de resolver ese punto se preparó en las etapas iniciales del proyecto una encuesta que se aplicó inicialmente en fase de prueba entre los alumnos universitarios. Los primeros resultados fue-

INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición en español de SCIENTIFIC AMERICAN

LAS MATEMATICAS DEL "I CHING" Octubre 1976

140 Ptas.

Portada del primer número de *Investigación y Ciencia*.

Cuando tenía 19 años *(ahora tengo 76) adquirí varios libros publicados por la Revista de Occidente, escritos por expertos de* Scientific American. *Me gustaron tanto que cuando apareció* Investigación y Ciencia *en 1976 me suscribí inmediatamente. Cuando me jubilé, anulé la suscripción por precaución ante la disminución de ingresos que toda jubilación conlleva, pero he podido seguir comprando la revista en los quioscos hasta la fecha. Conservo todos los ejemplares, pues me han acompañado a lo largo de mi vida. Para mí ha sido la fuente que necesitaba para comprender y estar al día en los temas científicos que siempre me han interesado. Decía Marañón que «el que solo sabe medicina, ni medicina sabe». Les doy las gracias por lo que me han aportado. Seguiré comprando la revista, pues nunca me ha decepcionado a lo largo de estos 40 años.*

José Antonio Alegre Moreno (lector)
Puzol, Valencia

Recuerdo a un profesor de secundaria *que siempre andaba con una revista de ciencia. Un día me sorprendió hojeando un ejemplar que había olvidado en su mesa. Al ver que me cautivaba, me lo regaló. Años más tarde, ya en mi lugar de trabajo, volví a encontrarme con* Investigación y Ciencia. *Desde entonces la recibo, la leo y la utilizo para divulgar la ciencia, tal cual hacía mi profesor.*

David Steven Acosta (lector)
Planetario de Bogotá



CORTESÍA DE DAVID STEVEN ACOSTA

***Investigación y Ciencia* es para mí una de las pocas revistas** de divulgación que merece coleccionarse y encuadernarse. De gran utilidad para profesores y estudiantes universitarios, también ha penetrado en el ámbito preuniversitario, por la calidad y actualidad de sus artículos.

Quiero agradecer la oportunidad que me ha brindado para publicar reseñas bibliográficas de obras que de otra forma posiblemente habrían pasado inadvertidas para algunos sectores de profesionales: sobre todo, textos de biología celular y obras de tipo metodológico dirigidos a los estudiosos del mundo microscópico, animal y vegetal. Numerosos métodos experimentales requieren habilidades «artesanales» que los investigadores más jóvenes no dominan, pero los textos que abordan estas técnicas son escasos. Por ello, cuando aparece uno merece ser publicitado.

Tras estos cuarenta años he tenido la oportunidad de establecer contacto con diversas personas del equipo editorial, que han demostrado siempre una gran profesionalidad y grado de exigencia. Quiero expresar mi agradecimiento a José María Valderas, que durante muchos años ocupó un lugar destacado en la dirección, así como a Francisco Gracia Guillén, el fundador. Hago extensiva mi gratitud a quienes han continuado su labor.

Mis mejores deseos para que *Investigación y Ciencia* tenga el tesón que ha demostrado hasta el momento y continúe acercándonos trabajos científicos de gran calidad. Dada la avasalladora cantidad de información que nos llega a través de otras plataformas, una revista del nivel de la que conmemoramos los cuarenta años de existencia siempre será muy bien acogida y valorada.

Mercè Durfort
Catedrática de biología celular
Profesora emérita de la Universidad de Barcelona
Colaboradora de la sección de reseñas «Libros»

Un viernes de 2010, *al igual que miles de estudiantes de la Universidad de Santiago de Compostela, estaba en el andén esperando el tren que me llevaría a casa. Durante la espera, vi el* TEMAS 60, Física y aplicaciones del láser, *a través del cristal del quiosco. Lo compré y me entretuvo todo el viaje. Unos días después, escuché que existía un máster sobre fotónica y láser, cosa que me habría pasado desapercibida de no haber sido por tal revista. Hoy, hago un paréntesis en la escritura de mi tesis doctoral sobre microprocesado láser para contar esta historia.*

Antonio Dias Ponte (lector)
Pontevedra

ron muy poco estimulantes. Aunque se ponía de manifiesto una gran receptividad ante una nueva publicación periódica, los asuntos técnicos y científicos no suscitaban ningún especial entusiasmo entre la juventud de una época tan preocupada por los temas políticos y sociales como aquella. De haberlo continuado y haber tomado los resultados de tal sondeo en serio, es posible que *Investigación y Ciencia* no hubiese llegado a nacer. Se tomó la decisión contraria, suprimiéndolo.

La forma en que posteriormente se desarrollaron las cosas confirmó lo acertado de esa decisión. Desde el primer número, la revista contó con una recepción inusualmente favorable entre el público español e hispanoamericano, comenzando así la ininterrumpida trayectoria que ha caracterizado a la publicación de puesta a disposición de los hispanohablantes de lo mejor del pensamiento contemporáneo universal, y muy en concreto del generado en nuestro propio idioma. ¡Hagamos votos por que esta trayectoria se prolongue todavía durante muchos años más! IyC

A hombros de gigantes



José María Valderas
Exdirector
de *Investigación y Ciencia*

A hombros de gigantes llegó *Investigación y Ciencia* en octubre de 1976, a un público ansioso de conocimientos en un momento crucial de la historia de la España contemporánea, abierta a la democracia. Los gigantes tenían nombre y apellido: Gerard Piel, Dennis Flanagan y Donald H. Miller. Habían comprado en 1948 la cabecera de *Scientific American*, un tabloide creado en 1845 dedicado a inventos y descubrimientos. Piel y Flanagan procedían de la *Life*, una revista gráfica de éxito millonario. Se propusieron transformar el viejo planteamiento de la revista y darle un aire nuevo, donde la ilustración formara un todo único con el texto y no se limitara a ser mero apéndice decorativo. Convirtieron la nueva revista en un medio autorizado y prestigioso, en el que los autores eran los mismos científicos que estaban roturando la avanzadilla del campo en cuestión, auxiliados en su redacción e ilustración por el equipo de la revista.

Partidarios de que el saber era un derecho de la humanidad entera, fomentaron la participación de los beneficios de la ciencia en todo el mundo. Y así fueron apareciendo las múltiples ediciones de *Scientific American* en otros países y lenguas.

No contábamos en España con un medio similar. Había habido algunos esfuerzos beneméritos. De hecho, la divulgación de la ciencia había sido objetivo principal, aunque apenas conocido, de figuras señeras de la filosofía hispana en la primera mitad del siglo XX: Manuel García Morente, José Ortega y Gasset o Xavier Zubiri. La propia *Revista de Occidente* había traducido algunos artículos de *Scientific American*. Empeños efímeros fueron *Euclides*, sobre lógica y matemática, *Las Ciencias* y otras menores. Solo resistía *Ibérica* como publicación periódica. Algunas editoriales habían traducido compendios de artículos de la revista americana, que gozaron de buena aceptación en nuestra comunidad universitaria.

La aparición de la edición española de *Scientific American* se debe a la inteligencia y tenacidad de Francisco Gracia Guillén, director general entonces de la Editorial Labor, empresa participada por Explosivos Río Tinto, de donde él procedía. Aunque licenciado en filosofía y en derecho, era suscriptor desde hacía tiempo atrás y, en cuanto pudo,



Premio de periodismo científico otorgado por el CSIC a *Investigación y Ciencia* en 1994.

se aprestó a traerla a España. *Investigación y Ciencia* fue la tercera edición en orden de publicación, precedida solo por las ediciones italiana (1968) y japonesa (1971).

¿Cómo nació *Investigación y Ciencia*? Constituida la sociedad Prensa Científica, había que ponerse manos a la obra. Solo teníamos facultad para introducir un artículo español en cada número. Parecerá escasa aportación, pero no lo era si tenemos en cuenta el nivel de la revista madre, que contaba sus firmas por premios nóbel. En el primer número publicamos un artículo de Ramón Margalef, padre de la ecología española, de prestigio internacional. Se trataba de una exposición basada en un ensayo pionero: el estudio de la biología de los embalses, estructura pública que caracterizó al franquismo y que ofrecía un experimento único para el estudio de la formación e interrelación de nuevas comunidades.

Se dio, además, un fenómeno insólito en el talante de la comunidad académica. Citaré un caso por botón de muestra. Con generoso desinterés, Pedro Pascual (progenitor de la física y físicos de altas energías de nuestro país) se comprometió él mismo a traducir los artículos de la materia y a aconsejar la invitación de otros, que, al venir la sugerencia de quien venía, no se podían negar. Asegurada la excelencia de las traducciones y la selección de la primera hornada de autores idóneos, la criatura empezó a crecer, mecida por la buena recepción brindada por estudiantes y profesores, amén de profesionales. Creó escuela, y a su imagen surgieron otros proyectos de distinto nivel y suerte, como suplementos de ciencia en los periódicos, programas de televisión, etcétera. Ni que decir tiene que, desde un comienzo, hubo particular interés en establecer el uso de un español digno, que evitase los cómodos anglicismos que algunos confunden con el conocimiento del tema. A este respecto, Ángel Martín Municio reconoció explícitamente ese esfuerzo al firmar, en nombre de la Real Academia Española de la que era vicepresidente, una suerte de bases de relación mutua entre esa entidad y la publicación. IyC

Releo la presentación de *Investigación y Ciencia* (octubre de 1976), que firma Francisco Gracia Guillén, su fundador y primer director. Le arranco estas palabras: «La falta de canales de comunicación científica en nuestro ámbito cultural [...] no solo es efecto, sino también causa de esta anemia científica y, por tanto, cultural». *Investigación y Ciencia* —quienes la crearon, la dirigen y la sostienen— abre canales. No Suez ni Panamá, pero sí las vías que pergeñaron Gracia, José M.ª Valderas y su equipo.

Como Borges su Uqbar, descubrí espejo y enciclopedia en Gracia, Valderas y Martin Gardner. Gardner inauguró la columna «*Mathematical games*» en *Scientific American*; «Juegos Matemáticos» en *Investigación y Ciencia*. Me hicieron su traductor. Inútil cuantificar cuánto les debo: esa deuda no es computable.

La jubilación a todos alcanza, y Valderas, director de *Investigación y Ciencia* y fundador de *Mente y Cerebro*, entregó la neonata, ahora adulta y vigorosa, a una suma de excelencias. Pilar Bronchal y la Redacción, sorteando las crisis económica y de lectura, celebran sus XL. Talla justa para la revista. Esbelta, técnicamente avanzada, ideas propias. Su hermana crece sana y robusta. ¡A una y otra, larga vida! Y a todos, mi afecto y mi gratitud.

Luis Bou
Traductor de Investigación y Ciencia

***Investigación y Ciencia* influye en mi vida** *como el resto del conocimiento. Un placer indescriptible vivir siempre en el asombro. Hay quien cree que la ciencia tiene las respuestas finales, nada mas lejos de la realidad, precisamente se ríe de quien cree tenerlas. Sí, disfrutamos con las cosas que entendemos, pero con las que realmente gozamos es con las que ignoramos.*

Andrés Navarro Noguerol (lector)
Villamartín, Cádiz

Corría mediados de 1977 *cuando mi padre llevó a casa un ejemplar de* Investigación y Ciencia. *La lectura de aquel número fue como un rayo de sol. Conseguí hacerme con los que ya habían sido publicados —con 16 años y cinco hermanos, mi economía era más bien escasa—. Desde entonces he comprado todos y cada uno de los números, encuadernándolos y consultándolos para ver la evolución de los hallazgos en física de partículas, astronomía y astrofísica, genética, epigenética, y disfrutando enormemente con secciones como «Juegos Matemáticos» y «Taller y Laboratorio». ¡¡Feliz Cumpleaños!!*

Gerardo Izquierdo (lector)
Madrid



Era un lunes de septiembre. *Iba en autobús hacia la facultad de medicina. Estaba muy nervioso, las piernas me temblaban, el corazón me palpitaba. Me quedaban pocos minutos para matricularme, pero no estaba seguro de querer hacerlo. Me sentía dividido entre estudiar medicina (mi abuelo materno, al que me sentía muy vinculado, era médico rural) o biología (me gustaba el contacto con la naturaleza). Finalmente me matriculé en medicina, pero me quedó una fuerte atracción hacia la biología. En octubre de 1976 llegó a mis manos el primer número de* Investigación y Ciencia. *Me interesó mucho y sentí que era el puente entre mi carrera de medicina y mi renuncia a dedicarme plenamente a la biología. Tengo todos los números encuadernados.* Investigación y Ciencia *tiene un lugar especial en mi mesita de noche.*

Joan Manuel Blanqué López (lector)
Barcelona

Gracias por haberlo hecho posible



Pilar Bronchal
Directora general
de *Investigación y Ciencia*

Prensa Científica, como empresa, e *Investigación y Ciencia*, como revista de divulgación científica, cumplen cuarenta años de vida. Mis antecesores, Francisco Gracia y Jose María Valderas, han explicado en las líneas precedentes cómo fueron fundadas la empresa y la revista, y cuáles han sido sus fuentes y sus aportaciones. Y también lo que significa cumplir cuarenta años en el panorama editorial de la divulgación científica en español. Me gustaría añadir algunos comentarios sobre las razones que creo nos permiten estar aquí y celebrar todos juntos este 40.º aniversario.

En primer lugar, nuestra filosofía permanece intacta: Prensa Científica ha creído siempre que la ciencia es comprobación y contraste y, sobre todo, en palabras de Gracia, «conocimiento no solo compartible, sino compartido de hecho». Y esa es nuestra labor, servir de canal para que los mejores investigadores puedan poner sus conocimientos al alcance de los innumerables lectores interesados en el avance y el progreso. Y para ello, desde el primer momento, hemos sido conscientes de que nuestra labor se basaba en un respeto profundo por los dos polos a quienes conectábamos: los autores y los lectores. Esa ha sido, y es, nuestra forma de trabajar y de publicar.

Además, también desde sus principios, Prensa Científica ha tenido bien claro que su activo más importante es su equipo. Nuestras metas y objetivos se hubieran quedado en meras palabras si no hubiésemos contado con el talento, la creatividad y el conocimiento de todos los que formamos parte de esta organización: editores, diseñadores, administrativos, gestor de redes... personas con nombre propio, algunas de las cuales llevan trabajando para este proyecto desde su origen. No podríamos celebrar nuestros cuarenta años sin ellos.

En cuanto a los recursos técnicos, ha sido necesario pasar de la linotipia a la fotocomposición, del papel al formato digital. Y lo hemos hecho. Un nuevo público lector demanda nuevos canales de comunicación. Y nuestras publicaciones, tanto *Investigación y Ciencia* como *Mente y Cerebro*, han conseguido generar confianza, tener presencia en las redes, interaccionar con nuestros usuarios y mantener y difundir la calidad y relevancia de nuestros contenidos. En este sentido, quiero destacar también la labor de nuestros blogueros de SciLogs, que dinamizan, expanden y añaden otras perspectivas del conocimiento.

Son cuarenta años en los que desde Prensa Científica se ha conseguido crear una comunidad de autores y lectores fieles a la ciencia y a su divulgación. Gracias a todos vosotros: equipo de trabajo, fundadores, autores, colaboradores, lectores. Estar aquí es el éxito de todos. ¡Gracias!



Reunión de las ediciones internacionales de *Scientific American* celebrada en Moscú en 2011.

ALEKSANDR BASALAYEV, CORTESÍA DE *V MIRE NAUKI*, EDICIÓN RUSA DE *SCIENTIFIC AMERICAN* (*abajo*); CORTESÍA DE JOAN MANUEL BLANQUÉ LÓPEZ (*arriba*)

Periodismo, divulgación y educación

La adquisición de conocimientos científicos se produce, sobre todo, por vías no formales

Cada nueva generación tiene potencialmente a su alcance un universo de conocimientos científicos que se superpone al anterior y que cada vez es más amplio y complejo. Incluso hoy ya no hace falta esperar a una nueva generación para que fluyan nuevos conocimientos a una velocidad que hace muy difícil estar realmente al día en prácticamente cualquier disciplina. El estatuto de la ciencia contemporánea, su acumulación y su replanteamiento —y, sobre todo, su avance— la convierte en una tarea de compleja aprehensión.

En las sociedades occidentales, la adquisición de conocimientos se produce, en principio, en un contexto formal a través de la escolarización y de los estudios de secundaria y superiores. En estos ámbitos están presentes los libros de texto, las monografías especializadas, los artículos de investigación, etcétera. Esta es la etapa de formación: graduada, orientada y explicada por el profesorado, y sancionada por distintos modos de evaluación. Los ciudadanos alcanzan así un mayor o menor grado de preparación, según sean las oportunidades y voluntades de cada uno.

Pero, fuera de ese ámbito de la educación, hay otras formas de adquisición de conocimientos que se desarrollan a lo largo de la trayectoria de cada persona que entra con plena legitimidad en la vida cultural, social y política. Se trata de la adquisición de conocimientos por vías informales: por medio del entorno familiar y social, de la lectura de libros, revistas y periódicos, del acceso a toda clase de contenidos a través de los medios audiovisuales (Internet, televisión, radio) y, en general, por la experiencia acumulada y la observación constante. La oferta cultural cuenta, además, con obras de teatro, cine y series de televisión, actividades organizadas en bibliotecas (como las sesiones de los clubes de lectura de libros), cafés científicos, conferencias y muchas otras opciones. Sin olvidar los museos de ciencia, que han desempeñado un papel clave en todos los tiempos desde su creación y especialmente en las últimas décadas, cuando muchos de ellos se han convertido en, o han nacido directamente como, centros interactivos de ciencia.



Vladimir de Semir dirige el Máster en Comunicación Científica que ofrece el Centro de Estudios de Ciencia, Comunicación y Sociedad de la Universidad Pompeu Fabra

En relación con las fuentes y los contextos de aprendizaje, un estudio realizado en Estados Unidos y divulgado por John H. Falk y Lynn D. Dierking, de la Universidad estatal de Oregón, en 2010 en *American Scientist* confirmó un aspecto que siempre ha sido evidente empíricamente: la educación formal infiere solo un 5 por ciento del conocimiento científico de la población; el resto se acumula a lo largo la vida por vías informales (desde lo que asimilamos sentados delante de la televisión a lo que aprendemos en una visita a un museo). Un aprendizaje continuado, la mayor parte de forma subliminal. La difusión del conocimiento por las vías no formales resulta, pues, crucial.

Es precisamente esta la función esencial que han desempeñado el periodismo y la divulgación de las ciencias desde tiempo casi inmemorial, aunque con mucha mayor intensidad, estructura y continuidad en los dos últimos siglos. Y, muy especialmente, en las últimas cuatro décadas... que casualmente es el tiempo de vida de ejercicio profesional como periodista, divulgador y educador de quien escribe este homenaje a la revista *Investigación y Ciencia* en su también 40.º aniversario. IyC

Retos de la comunicación científica

La ciencia gana protagonismo en los medios pero sigue despertando un escaso interés entre el público español

Pocas personas y organismos pueden decir que han llegado a los cuarenta años en el excelente estado de forma en que lo hace *Investigación y Ciencia*. La revista, conocida por su rigor e interés, es fiel reflejo del estado dulce en el que se encuentran el periodismo y la divulgación científica en todo el mundo y, particularmente, en España. La llegada de Internet ha demostrado lo que muchos ya sospechábamos: la información de ciencia no es un gueto aislado, con capacidad de captar solo la atención de los propios científicos y otro público especializado, sino que suscita el interés de todo tipo de lectores en todo el mundo porque responde a preguntas relacionadas con la propia esencia del ser humano (¿quiénes somos?, ¿de dónde venimos?), despierta la imaginación al abordar complejas misiones a los confines del espacio y se adentra en cuestiones que, incluso, desafían el sentido común, como cuando hablamos de física cuántica.

Con todo, quedan aún cuentas pendientes por resolver. La ciencia ha transformado la sociedad, y continúa haciéndolo, y una sociedad en la que la tecnología cobra cada vez mayor importancia debe



Patricia Fernández de Lis es redactora jefa de ciencia y tecnología en *El País* y directora de *Materia*.

Comunicar ciencia en la ciberradio

La Red ha convertido la radio en un medio global

Parece que fue ayer cuando llegaba a los quioscos el primer número de *Investigación y Ciencia*. Era octubre de 1976. Aquel otoño, nos sentábamos en familia delante del televisor para disfrutar de la serie *El hombre y la tierra* del añorado Félix Rodríguez de la Fuente y escuchábamos en Radio Nacional de España su programa *La aventura de la vida*. Era uno de los escasos espacios dedicados a la divulgación en la oferta radiofónica de entonces. Aquella radio analógica se hacía con transmisores de válvulas, líneas microfónicas, cintas abiertas de magnetófono y máquinas de escribir. Cuatro décadas después, nos hallamos inmersos en la era digital.

El mundo se encuentra invadido por dispositivos que acompañan al ser humano en cada una de sus actividades cotidianas, aparatos tecnológicos a través de los cuales nos informamos, entretenemos, relacionamos o comunicamos con otras personas. Cualquier instrumento conectado a Internet puede reproducir una radio que vuelque sus emisiones en la Red. Es la ciberradio, un universo nuevo con sus tiempos y espacios complementarios —si no diferentes— del mundo radiofónico tradicional. Con la Red se han superado las clásicas divisiones de la radio local, regional, autonómica, nacional e internacional para dar lugar a una radio global.

Las redes sociales se han convertido en herramientas fundamentales para conocer el interés de la audiencia, interactuar con ella y promover nuestros contenidos. Atrás quedaron los mensajes escritos en el aire. Gracias a los *podcasts*, el oyente puede elegir el programa que le interesa y escucharlo como, cuando y cuantas veces desee. Todas las grandes cadenas de radio tienen su página web y algunas emisoras emiten solo por Internet.

Si bien la radio tiene el inconveniente de carecer de imágenes o textos en que apoyarse, la Red ofrece la posibilidad de suministrar recursos audiovisuales complementarios a la emisión. Con todo, posee sus propios recursos. Entre ellos destaca la voz, un medio natural que tiende a la afectividad o la persuasión. Una adecuada selección de contenidos, combinada con una acertada ambientación musical ayudan a captar el interés del público y a transmitir la información de un modo ameno. La radio sigue siendo un medio barato, al alcance de la mayoría, lo que la convierte en el más popular. Más de 23 millones de oyentes la escuchan a diario, según la primera oleada del Estudio General de Medios de este año. Es un medio directo e inmediato en su difusión. Permite la interacción con el oyente y no le impide realizar sus tareas mientras escucha. No hay tema, por complicado



Manuel Seara es director del programa de divulgación científica de Radio Nacional de España *A hombros de gigantes*.

que sea, que no pueda ser tratado. Y su contribución es fundamental para la formación de una sociedad más democrática en tanto que más formada, con espíritu crítico y conocimiento para demandar a sus gobernantes políticas que promuevan la I+D, valorar sus decisiones y ser capaces de analizar las consecuencias de determinados avances científicos.

En 1976, *Investigación y Ciencia* o *La aventura de la vida* constituían un oasis en el desierto de la información y divulgación científicas. Cuarenta años después, la demanda y la oferta han crecido de forma extraordinaria, como puede comprobar cualquiera que acuda a un quiosco, se dé una vuelta por el dial o tenga a mano Internet. Felicidades a los compañeros de esta revista por estos primeros cuarenta años de vida.

---

ser también una sociedad científicamente más educada. Sin embargo, el último estudio de percepción social de la ciencia de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología revela que solo el 15 por ciento de los ciudadanos españoles asegura estar interesado por estos asuntos, frente al 25 por ciento que no lo está. El mismo análisis muestra que un 30 por ciento de los españoles cree que los humanos convivieron con los dinosaurios, un 25 por ciento piensa que es el Sol el que gira alrededor de la Tierra y no al revés, y apenas el 46 por ciento sabe que los antibióticos no curan enfermedades causadas por virus, sino solo las de origen bacteriano.

La información científica en los medios de comunicación no ha parado de mejorar en los últimos años. Tenemos programas de divulgación en televisión como *Órbita Laika*, secciones diarias en periódicos como *El País* o *El Mundo*, plataformas especializadas como *Naukas*, webs de noticias diarias como la agencia SINC o *Materia*, la web de ciencia de El País, que dirijo, y revistas como *Investigación y Ciencia*. Los lectores tienen múltiples fuentes a las que acudir. Es de esperar que, en unos años, esas espantosas estadísticas que arrojan los estudios de la FECYT cambien. Sin embargo, se necesita el apoyo de las instituciones gubernamentales para que la formación en ciencia y tecnología de los españoles mejore.

Y hay todavía un último problema: el interés por la ciencia es el doble en hombres (20 por ciento) que en mujeres (10 por ciento), en todas las franjas de edad, incluso en los más jóvenes. Una brecha que ni siquiera la mejor divulgación e información científica, como la que tenemos ahora, ha sido capaz de cerrar.








El lento despertar de la cultura científica en los medios

Poco a poco, la ciencia va abandonando los formatos televisivos elitistas para ocupar espacios dirigidos al gran público

Cada vez que me preguntan sobre televisión me suena a viejo. Hoy toca ya hablar de medios en general, y de cultura en particular. Aunque todavía se oye en los congresos eso de «hay poca ciencia en la televisión», en mi opinión, esto es solo un síntoma. La «enfermedad» sería quizás esta: hay poca cultura en los medios, es decir, hay poca cultura en la vida, porque la vida hoy transcurre en los medios.

Un 60 por ciento de la televisión que consumen los adolescentes les llega a través de un teléfono inteligente. La mayoría de nosotros descargamos programas y *podcast*, compartimos enlaces, chateamos y reenviamos contenidos audiovisuales, textuales, gráficos, emocionales, etcétera.

Según la última encuesta de percepción social de la ciencia elaborada por la FECYT, solo un 15 por ciento de los españoles manifiestan un interés espontáneo por la ciencia y la tecnología, y solo un 16,4 por ciento lo muestran por temas como el arte y la cultura. Para mí, lo curioso es que ciencia y cultura vayan separadas en la estadística.

La cultura prácticamente ha desaparecido de los grandes medios. En parte, víctima de un tratamiento elitista que ha disociado de la vida de los mortales los contenidos culturales, relegándolos a la nada en materia de audiencia, a merced de la financiación pública o el patrocinio no rentable en términos económicos.

En el caso de la ciencia, además, habría que hablar de un total y completo aislamiento. Hemos soportado años de programas soporíferos donde intelectuales se doraban la píldora unos a otros. Sin embargo, mientras arquitectos, escritores, cineastas y pintores compartían pantalla, los científicos iban siempre solos. Se llegó a acuñar un lenguaje visual propio para la ciencia: platós oscuros, música metálica, grafismos azules, señores despeinados con gafas, preguntas largas, respuestas incomprensibles y todo bajo un cartel que rezaba «si no eres muy listo cambia de canal».

Pero poco a poco hemos podido romper el molde, o quizá solo agrietarlo. Algunos programas se han atrevido a hacer experimentos (unos en serio como

El arte de ligar con el espectador

O cómo construir una buena historia televisiva para captar el interés del público

Comunicar es como ligar: hay que captar la atención, mantener el interés y resolver las expectativas. Despliegas las plumas, alimentas la curiosidad y culminas lo mejor que puedes. Tienes que cuidar mucho los principios y los finales: sin un buen inicio, la relación no va, y el final es lo que deja buen o mal sabor de boca. Si, captado el interés, consigues cita, tendrás que mantener una conversación; pero si no hablas el mismo idioma que tu interlocutor, lo tienes mal.

Si lo que pretendes comunicar es información científica, no puedes olvidar que la gente no conoce el idioma de la ciencia. Deberás usar el lenguaje común. Desde la infancia, adquirimos unos modelos de relación con el mundo que son universales y que nos servirán para crear metáforas, analogías y asociaciones de ideas que harán posible avanzar en el conocimiento. Con la balanza; el podio; la llave y la cerradura; los quesitos y un dentro/fuera podrás explicar un gran número de conceptos abstractos. Cada una de las partes establece su relación a partir del yo. Muy pronto deberás responder a un «¿Y eso, a mí, qué me importa?», «¿Es bueno o malo?», «¿Para qué sirve?». Si tus respuestas son siempre negativas, no vas a ligar mucho.

Para mantener el interés hay que contar historias, relatos. Y toda historia tiene un protagonista (el fumador) con un objetivo (dejar de fumar). Y un antagonista (¿el tabaco? No: él mismo) que genera un conflicto. Planteamiento, nudo y desenlace. Y siempre, siempre, personas que tienen sus contradicciones,



Jaume Vilalta Casas es director y presentador del programa de divulgación científica de TV3 *Quèquicom*.



Ana Montserrat Rosell es directora del programa de divulgación científica de La 2 *Tres14*.

Què qui com de TV3, otros en clave de humor como *El hormiguero* de Antena 3); otros han lanzado una mirada transversal sobre temas científicos (*Tres14* de La 2, del que me responsabilizo en buena medida) y otros han usado la ciencia como excusa para hacer un *late night* desenfadado (*Órbita Laika* de La 2).

En los últimos diez años hemos conseguido algo impensable: adaptar contenidos culturales (literatura, ciencia, arquitectura, gastronomía, etcétera) a formatos televisivos de entretenimiento (magazín, concurso) y desvincularlos de los formatos clásicos de divulgación (entrevista y documental) que parecían tener la exclusiva. Con bastante retraso, se está intentando llegar a todos los públicos, que es precisamente lo importante en un medio de comunicación «de masas», es decir, para la mayoría de las personas. Para las élites ya existen medios y canales especializados.

En definitiva, son solo pequeños pasos —por cierto, muy difíciles de promover y financiar— hacia la irrefutable demostración de que la cultura —ciencia incluida— forma parte de la vida humana, de manera que no debería estar por encima de ningún mortal; no deberíamos contarla en un lenguaje elitista, sino todo lo contrario. Sería hora ya de poner el discurso, el mensaje, al nivel de la mayoría, para evitar que esa mayoría cambie de canal. En el otro lado siempre hay fútbol, cine y entretenimiento facilón, y con eso debemos competir, nos guste o no.













con las que nos podemos identificar o no. Personas con carisma. Un proyecto debe contarlo quien está dotado para ello, no quien más sabe o más manda. En la narrativa televisiva, los personajes son básicos. De su mano vamos a compartir experiencias con el espectador. No se trata de aleccionar. Despertemos la curiosidad y avancemos juntos en la resolución del enigma. Eso lleva su tiempo, pero cala más que saturar al receptor con datos y datos.

Esos son los mimbres. Como se ve, en un cesto que cumpla esas condiciones cabe poca materia. Y en televisión, que tiene como requisito la secuencia de imágenes, menos aún. No se puede, no se debe, contar todo. Hay que aprender a renunciar para centrarse únicamente en una idea principal y un par de secundarias (que apoyan a la primera), más un regalito, breve, para el usuario avanzado. Y basta. La televisión es buena transmitiendo realidades tangibles y emociones, pero no tanto explicando conceptos abstractos. Cuando alguien dice «no sabía que me interesaba este tema» hemos cumplido el objetivo. No esperemos que aprenda «todo lo que debería saber» sobre aquello, basta con que quiera saber más. Ya hará su propio camino.

Todas las historias tienen sus momentos buenos y malos. Valoramos un gol porque vemos que cuesta mucho meterlo. Pero ocurre que los científicos no documentan los fracasos y con ello pierden valor. Tampoco suelen tomar partido abiertamente en temas sociales. En los últimos años, sin embargo, el esfuerzo de las entidades científicas por ganar presencia mediática ha sido enorme. Han entendido que científicos y periodistas pensamos al revés el uno del otro: el científico tenderá a retroceder hasta Pangea para explicarte la pasta de dientes, pasando primero por el método, la bibliografía, los ingredientes y las fuentes. Lo interesante quedará, en general, disuelto en el discurso. Separar el grano de la paja e intuir lo que tiene interés constituye un arte. Y por ello confían cada vez más en los profesionales de la comunicación. Un tándem que llegará cada vez más lejos.

El futuro de la divulgación científica es colaborativo

La plataforma Naukas, mucho más que la suma de las partes

Si hay algo que ha cambiado la comunicación en los últimos veinte años ha sido la capacidad de conectar a millones de personas de manera inmediata a través de las redes. Cuando fundamos la plataforma Naukas, en el año 2010, nuestro primer objetivo era explorar estas posibilidades y crear una herramienta que permitiera a quienes se dedican a la divulgación científica llegar a más gente y mejorar la comunicación entre ellos. Han pasado más de seis años y Naukas se ha convertido en un referente, tanto por su actividad en la Red como fuera de ella. Con más de 120 colaboradores, más de un millón de páginas vistas al mes a través de la web y la realización de eventos de divulgación en toda España, Naukas ha ayudado a crear un caldo de cultivo para que aumente el interés por la ciencia en la sociedad, especialmente entre los más jóvenes.



Antonio Martínez Ron, periodista y divulgador científico, es uno de los creadores de la plataforma Naukas.com.

La característica fundamental de Naukas es que se trata de una plataforma colaborativa basada en la suma de esfuerzos. No se puede definir simplemente como un blog, una red social o un foro dedicado a la divulgación de la ciencia. El verdadero valor del proyecto reside en la capacidad de un grupo muy amplio de científicos y divulgadores para unir fuerzas, intercambiar ideas y llevarlas a la práctica de manera colectiva. Como un hormiguero, Naukas se basa en la capacidad de colaborar y de generar algo que va más allá de la suma de las partes. En un mundo cada vez más complejo, donde muchos avances necesitan ser abordados desde varias disciplinas, contar con la aportación de expertos en materias tan diversas como la física, las matemáticas o la biología contribuye a generar contenidos de mayor riqueza y rigor, así como a tomar una perspectiva más global sobre la propia divulgación. Si se dice que cuatro ojos ven más que dos, no podemos negar que 120 cerebros piensan mejor que uno, y un millón, mejor que 120.

Buena parte de las relaciones humanas y económicas están cambiando ya bajo esta nueva perspectiva. La Red está permitiendo descubrir usos nuevos en ámbitos como el transporte, la hostelería, la alimentación o el comercio. Durante mucho tiempo, los medios de comunicación tradicionales han ignorado —cuando no menospreciado— lo que se producía

La universidad y los blogs de divulgación científica

Pese a no ser valorada por la Administración ni por parte de la Academia, la labor divulgadora de los investigadores entraña un gran valor y potencial



José Manuel López Nicolás es profesor titular del departamento de bioquímica y biología molecular de la Universidad de Murcia y autor del blog *Scientia*.

Hasta hace pocos años, la divulgación científica escrita era coto privado de algunas revistas publicadas en papel. Ahora, todo ha cambiado. La irrupción de los blogs de divulgación y el auge de las redes sociales ha provocado que el mundo 2.0 sea uno de los principales medios de divulgación de la ciencia. En los últimos tiempos se ha producido un espectacular incremento del número de bitácoras colectivas y personales que divulgan, con estilos muy diferentes, todas las ramas del conocimiento. Dentro de los blogs científicos, un grupo especial lo componen aquellos cuyo autor es un profesional universitario que compagina su labor docente e investigadora con la divulgación. ¿Por qué son especiales? Por sus ventajas e inconvenientes.

Entre las primeras destacan aquellas que repercuten tanto sobre la institución como sobre el propio investigador. El profesional universitario que se lanza a la aventura de la divulgación abriendo un blog científico puede retroalimentarse de él. La presencia en el mundo 2.0 le permite difundir sus resultados entre otros grupos de investigación o en el tejido empresarial mediante vías distintas a las «oficiales». Fruto de esos vínculos establecidos entre universidades y empresas se han firmado acuerdos de colaboración de gran importancia. Un caso muy reciente es la concesión, por parte del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (dependiente del Ministerio de Economía y Competitividad), de un proyecto de investigación sobre productos lácteos dotado con casi un millón de euros en el que participan empresas y centros de investigación. La presencia entre estos últimos de la Universidad de Murcia es debida a la difusión en el blog *Scientia* de las labores investigadoras realizadas por el grupo científico al que pertenece su autor. Lo más curioso es que, para divulgar dichos trabajos, el responsable del blog, un servidor, utiliza personajes que aparecen en la trilogía de *El Señor de los Anillos*. El uso de estas herramientas permite que un artículo científico leído por unos pocos especialistas llegue, con un leguaje más asequible, a decenas de miles de personas, y ello con resultados inesperados.

Pero no es oro todo lo que reluce en el mundo de los blogs universitarios. A pesar de que la Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación contempla la promoción de las labores de divulgación, en la actualidad estas no se valoran a nivel curricular. Ello hace que muchos divulgadores pertenecientes a instituciones universitarias se estén replanteando si el esfuerzo vale la pena. Otro grave inconveniente es que la labor del profesor/investigador que divulga la ciencia no está bien vista por algunos miembros de la comuni-

en las redes, aplicando una visión de otro tiempo, con un flujo vertical de la información. Naukas es una fórmula abierta, adaptada a un nuevo lenguaje y nacida para fomentar la participación de abajo hacia arriba.

La intención última es generar una herramienta que ofrezca información de calidad que aparezca en las primeras posiciones de los buscadores, para no dejar indefensos a los millones de personas que cada día buscan información sobre temas de salud o ciencia y solo encuentran las propuestas de vendemotos y estafadores. Sobre los tres pilares de «Ciencia, escepticismo y humor», la plataforma nació para dar la batalla contra la ignorancia y la charlatanería, uniendo las fuerzas de aquellos que mejor conocen la ciencia y que mejor saben explicarla. Ciencia producida en red, distribuida en red y al servicio de todos.

dad universitaria, para los que la divulgación no pasa de ser un mero *hobby*. No estoy de acuerdo. Por una parte, la sociedad tiene derecho a conocer los resultados obtenidos en proyectos de investigación financiados por fondos públicos. Por otra, la actual Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación establece la divulgación como parte de sus objetivos. Finalmente, las unidades de cultura científica existentes en las universidades no son suficientes para llevar al público todo el trabajo realizado por sus científicos.

Estimados lectores, la divulgación de la ciencia llevada a cabo por investigadores tiene un valor añadido que otras fuentes de divulgación no poseen. No obliguemos a todos los científicos a divulgar, pero no pongamos trabas a aquellos que deciden dar el paso. Sus bitácoras son una herramienta muy valiosa para llevar el progreso científico a la sociedad. Como decía aquel... «todo suma».

La república de la ciencia

La agencia SINC, periodismo con vocación de servicio público

Las bibliotecas de las facultades de ciencias de la universidad donde estudié física eran islas de paz en medio de mi ajetreada vida de estudiante. Allí tenía un espacio donde concentrarme en silencio y, sobre todo, donde encontrar los libros que necesitaba para aprobar las asignaturas. Eran obras muy codiciadas, más aún cuando se acercaban los exámenes. Mucho menos solicitados estaban los libros de divulgación y las revistas. Entre ellas, *Investigación y Ciencia* y *Mundo Científico* fueron mis primeros contactos con la divulgación de alto nivel. Al acabar la carrera, seguí yendo a la biblioteca para encontrar una fuente fiable de noticias en unos años en los que empezaba a hacer pinitos en el periodismo científico. *Investigación y Ciencia* fue mi referencia sobre actualidad científica.

Han pasado ya dos décadas desde que tuve mi primer contacto con la edición española de *Scientific American* y el mundo del periodismo científico ha cambiado radicalmente. Ya no necesito desplazarme hasta la biblioteca de mi antigua facultad para estar al día; la Red me provee de información sobre actualidad científica a diario. Incluso la página web de *Investigación y Ciencia* ofrece en abierto una nutrida selección de noticias de ciencia, además de los fantásticos SciLogs, blogs de referencia internacional para el debate y la reflexión científica.

En este tiempo, he pasado por diversos medios (papel, radio y web); especializados y generalistas; como colaboradora y en plantilla. Desde 2011, soy redactora jefa de SINC, la agencia pública de noticias de ciencia, tecnología, salud y medioambiente. El mero hecho de que en España exista un medio de estas características, auspiciado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), habla sobre la importancia que ha cobrado el periodismo científico en nuestro país.

La agencia SINC nació en 2008, cuando la FECYT apostó por fomentar la cultura científica de la sociedad a través del periodismo creando una web de noticias científicas con licencia Creative Commons y vocación de servicio público. El periodismo que ejerce SINC hace que la ciencia llegue al gran público por dos vías: directamente desde nuestra web, e indirectamente a través de los más de mil periodistas de todo el mundo que son usuarios de SINC y que republican nuestros contenidos en los medios de comunicación masivos. Todos los principales medios españoles y un gran número de internacionales, en especial los latinoamericanos, utilizan SINC como fuente de información.



Pampa García Molina es coordinadora de la agencia pública de noticias científicas SINC.

SINC difunde noticias, reportajes, entrevistas, fotografías y vídeos elaborados por nuestro equipo, que está formado por una plantilla de seis periodistas especializados en ciencia, además de una nutrida red de colaboradores: periodistas, infografistas, ilustradores y fotógrafos. Los contenidos tienen una licencia Creative Commons y pueden reproducirse total o parcialmente, siempre y cuando se cite la fuente.

Desde el nacimiento de SINC, hace más de ocho años, hasta ahora, el proyecto ha crecido y la agencia se ha consolidado como una referencia del periodismo científico en español hecho con rigor y de manera atractiva, sin olvidar que nuestro objetivo es captar el interés del público.

Pero no todo son buenas noticias. Los periodistas científicos afrontan hoy el gran reto de hacer su trabajo sostenible: ¿cómo sobrevivirá la ciencia en un medio generalista si en algunas redacciones se pide a la sección de ciencia que iguale en clics a la de cotilleos? ¿Qué sustituto al viejo modelo empresarial basado en la publicidad mantendrá con vida a los medios?

Llegar a los 40 tiene mérito, pero más lo tiene haberlo hecho con un medio de alta divulgación científica en estos convulsos años de crisis editorial global. Y, además, sin perder la esencia de la primera juventud: el análisis en profundidad, accesible para un público dispuesto a impregnarse de la pasión por la ciencia. Enhorabuena.

Cuando la ciencia se convierte en diversión

Combinar la información con el entretenimiento, la fórmula ganadora de *Muy Interesante*

Muy Interesante nació el mismo año en que la NASA lanzaba al espacio el transbordador *Columbia*, desde cabo Cañaveral; en el que el primer ordenador personal (el IBM PC) salía a la venta; en el que el *Boeing 767* realizaba su primer vuelo; y en el que las naves *Voyager 1* y *Voyager 2* se acercaban más que nunca en la historia de la aventura espacial a Saturno y Júpiter.

En mayo de 1981 aparecía en los quioscos una nueva cabecera de conocimientos inclasificable para su época, pues el concepto de revista de divulgación científica popular tardaría unos años en llegar a nuestro país. En efecto, el único espejo donde podíamos mirarnos eran *Investigación y Ciencia* y *Mundo Científico,* publicaciones consideradas «de alta divulgación» y dirigidas a un publico objetivo diferente del que se asoma a nuestra revista.

Bajo el lema «entretenimiento inteligente», *Muy Interesante* pronto cosechó un éxito de ventas, adquirida por hombres y mujeres curiosos, ávidos de conocimiento, hiperestimulados por los avances científicos y biomédicos, y deseosos de pasar un buen rato. La revista, que se estrenó con la ilustración de un tsunami en la portada, impresa en papel cuché y cuatricromía, se convirtió así en la ventana a un mundo en constante evolución, una forma amena de explorar el modo en que la ciencia, la tecnología y la innovación están cambiando todos los aspectos de nuestras vidas, desde la cultura y la conservación del medio hasta la salud y el diseño; y en un referente de las publicaciones de divulgación científica para todos los públicos en nuestro país.

Cuando cumplió veinticinco años de su lanzamiento editorial, *Muy Interesante* contaba ya con casi dos millones de lec-



Enrique M. Coperías es director de la revista *Muy Interesante.*

Revistas para pensar la ciencia

Mètode, un lugar de encuentro entre ciencia y humanidades

Que una revista de divulgación científica cumpla cuarenta años es una magnífica noticia. Que lo haga, además, manteniendo el nivel y la calidad de *Investigación y Ciencia* es una muestra de que la ciencia contada desde el rigor no solo tiene éxito, sino que cuenta con el respaldo de un público fiel. Así lo ponen de manifiesto también los más de 170 años de historia de su hermana estadounidense, *Scientific American*. Y así lo venimos intentando también en *Mètode*, la revista de difusión de la investigación de la Universidad de Valencia, desde hace 90 números —más de dos décadas de historia, sin duda motivo de celebración.

Mètode es una revista trimestral. Se publica en catalán y, desde 2010, también en español. Nació en 1992 y, desde entonces, ha ido evolucionando hasta convertirse en un referente de la divulgación científica en nuestro país. Desde su fundación, ha ido creciendo y ampliando su alcance. Así, en 2011 poníamos en marcha *Mètode Science Studies Journal*, una publicación anual en inglés sometida a revisión externa y que se encuentra indexada en algunos de los principales índices de impacto y calidad. Con la creación de esta revista hemos querido ir un paso más allá de la divulgación, favoreciendo un espacio donde comunicar la ciencia y, al mismo tiempo, estudiarla.

Neurociencia, comunicación científica, biología evolutiva, cambio climático, retórica de la ciencia, estadística, la ciencia en la literatura... La variedad de temas que trata *Mètode* en sus números responde a la gran curiosidad científica de sus lectores. A lo largo de estos años, *Mètode* se ha convertido en un lugar de encuentro entre ciencia y humanidades, con una transversalidad que permite la participación de científicos, artistas, filósofos, sociólogos, historiadores, periodistas y escritores. En este equilibrio es donde reside su fuerza y originalidad.



Martí Domínguez es director de la revista *Mètode.*

Paralelamente, la revista ha ido abarcando nuevas áreas de la divulgación de la ciencia a través de su página web y de otros productos como la edición de libros de divulgación con la colección Monografies Mètode, una serie de libros que cuenta ya con ocho volúmenes; incluye títulos dedicados a la divulgación de la etnobotánica, a la figura de científicos como Einstein o Darwin, obras de teatro y relatos cortos científicos.

Mètode cumplirá 25 años en 2017. Una apuesta que nació como una publicación interna de la Universidad de Valencia y que ha sabido configurar un producto con una personalidad propia y diferenciada en el no siempre fácil mundo editorial de las publicaciones periódicas. Un cuarto de siglo en el que ha seguido la tradición de revistas como *Investigación y Ciencia* o *Scientific American*, que no solo han sabido crear espacios de información y comunicación de la ciencia, sino también favorecer lugares de análisis y reflexión. En definitiva, revistas para pensar la ciencia.

tores, una difusión media de 250.000 y el privilegio de ser la revista en castellano más leída en el mundo, gracias en buena medida a las ediciones americanas. Hoy, diez años después, la crisis que afecta al periodismo tradicional ha golpeado con dureza al sector de revistas; a pesar de ello, tenemos la suerte de mantener el liderazgo en el quiosco, con una difusión de 133.351 de venta media mensual (datos de OJD) y de seguir siendo catalizadores del conocimiento y motor de la curiosidad.

A ello hay que añadir el desarrollo de la web, con más de 18 millones de páginas vistas mensuales, y nuestra presencia en las redes sociales. Con más de 7.300.000 seguidores, *Muy* es el medio español más seguido en Twitter, a lo que hay que sumar los más de tres millones de adeptos en Facebook. Tal y como afirma el paleontólogo Juan Luis Arsuaga, *Muy Interesante* es la prueba tangible de que la ciencia interesa a la población en general, en contra de quienes relegan la cultura científica a un segundo plano.

La clave de su éxito radica en mezclar la información con el entretenimiento, el buen periodismo realizado por escritores especializados (periodistas científicos y científicos periodistas) que hablan con sus lectores, una comunidad formada ya por 18 millones de usuarios, de forma directa, comprensible, fiable y divertida. Porque, como dijo el periodista británico Gilbert Keith Chesterton, «divertido no es lo contrario de serio; solo es lo contrario de aburrido».



La luz de los planetarios

De las estrellas al conocimiento y la cultura

Hace ocho años, en pleno comienzo de la crisis económica, se planteó en la campaña presidencial estadounidense un debate sobre la necesidad de apoyo público a centros de promoción de la cultura científica. En concreto, un candidato republicano mencionó que un planetario era «un costosísimo proyector de transparencias». No es así, obviamente, y la propia Sociedad Internacional de Planetarios hacía notar que, en los más de 3000 planetarios que existen en todo el mundo, se produce un fenómeno único de invitación a la cultura científica, al descubrimiento y al conocimiento. Es signo de estos tiempos de recesión económica el cuestionar algo tan básico como el papel de los planetarios, lo mismo de los museos de ciencia o incluso de todos los museos y otras infraestructuras culturales.

Hace ahora cuarenta años, cuando estaba pendiente en este país crear un futuro posible, empezaron a plantarse las bases de una red de museos de ciencia, con el esfuerzo pionero de instituciones como el Ayuntamiento de La Coruña o de la Fundación La Caixa en Barcelona. Un museo clásico de historia natural, en Madrid, conseguiría reinventarse. También en Madrid, a mediados de los ochenta, se creó un planetario que se halla ahora en pleno proceso de remodelación, pero que, como todos los museos de ciencia, ha venido trabajando y creciendo con el constante favor de un público que necesita saber algo de lo que se está descubriendo, de la ciencia que está cambiando el mundo.

Los planetarios, esas extrañas salas con una pantalla que nos rodea por encima de nuestra cabeza, han cambiado mucho, como todo lo relacionado con las tecnologías audiovisuales. Los primeros planetarios públicos (como el del Museo Alemán de Múnich) nacieron en el segundo decenio del siglo XX para ser lugares de enseñanza de una ciencia, la astronomía, que en esos años estaba proporcionando conocimiento de un nuevo mundo, un universo enorme, que los telescopios desentrañaban estudiando la luz. Contaban historias sobre el universo, presentadas al público en sesiones que producían la sensación de estar, realmente, viendo el cielo estrellado.

El centro de la sala lo presidía siempre el proyector, ese cacharro que reproducía la luz que nos llega de las estrellas. Ahora se le han añadido —o lo han sustituido— una serie de proyectores de alta resolución que permiten colocar en esa pantalla no solo el cielo, sino cualquier escena que imaginemos. Los viajes de los planetarios ya no son solo espaciales, sino que permiten adentrarnos en el mundo microscópico o acompañar a los pioneros de la aviación, viajar en el tiempo y contemplar la extinción de los dinosaurios o viajar hasta los lejanos mundos de la estrella Cervantes. Una experiencia que sigue apostando por la divulgación y el entretenimiento. Por la cultura.



Javier Armentia dirige el Planetario de Pamplona.

Museografía científica de autor

Sobre la dimensión creativa de la divulgación

Empecemos confesando algo: cualquier forma de conocimiento evoluciona mucho más rápidamente que su difusión entre los ciudadanos. La ciencia, tal como la entendemos actualmente, arranca en el Renacimiento. Sin embargo, las distintas maneras de divulgar la ciencia no se disparan hasta hace pocas décadas. Pero incluso hoy en día existe una gran distancia entre la actividad de crear y la actividad de dar a conocer lo creado.

Sea cual sea el medio elegido (literatura, conferencias, cine, museos...), siempre hay un punto de inflexión que divide la divulgación entre un antes y un después. Antes de ese punto, el divulgador no se considera a sí mismo un creador de conocimiento. Solo traslada, transfiere, a lo sumo traduce o interpreta, el conocimiento de los creadores. Después del punto, en cambio, florece la creatividad. Julio Verne no inventó nueva ciencia ni imaginó nueva tecnología, pero si inventó un género literario que bien podría llamarse tecnología ficción. Nadie, ni siquiera él mismo, dudó nunca de que era un gran creador.

Una vieja pregunta plantea la cuestión de si un buen divulgador de la ciencia debe ser ante todo un científico o si puede funcionar siendo un buen periodista, un buen escritor o un buen cineasta. La respuesta es que un buen divulgador debe considerarse, ante todo, un creador, por mucho que sus creaciones descansen sobre las de otros creadores. Todas las formas de divulgación arrancan de un primer genio que decide divulgar, convirtiéndose él mismo en un creador. Por ejemplo, la divulgación científica en televisión arranca (y también culmina) con genios como Carl Sagan o David Attenborough. No son genios de la creación científica, pero sí de la creación en la divulgación científica. En España aún lloramos y añoramos a Félix Rodríguez de la Fuente.



Jorge Wagensberg es el creador y primer director de Cosmocaixa, el museo de la ciencia de la Fundación La Caixa.

Curiosamente, las últimas fábricas de estímulos a favor de la ciencia en todo el mundo han sido los museos. Pero, más curiosamente aún, en estos espacios de encuentro es donde el divulgador menos se ha considerado a sí mismo un creador. Lo más frecuente es que los museos de ciencia se copien, incluso se plagien (incluso se clonen) los unos a los otros. España ha llevado cierta iniciativa

La divulgación en psiquiatría

Ayuda a romper tabúes y a neutralizar el estigma social que rodea a la enfermedad mental

Desde su reconocimiento como rama de la medicina hace poco más de dos siglos, la misión de la psiquiatría ha sido investigar, prevenir, diagnosticar y curar enfermedades mentales. Sin duda, los divulgadores de la psiquiatría han desempeñado un papel fundamental en el conocimiento del público sobre la naturaleza de estas dolencias; y, de paso, nos han recordado que las verdades científicas no se inventan, se descubren. Precisamente, la difusión de la ciencia psiquiátrica ha servido para desautorizar a muchas teorías absurdas que hasta finales del siglo XIX empaparon esta especialidad. La divulgación también ha sido —y continúa siendo— una herramienta esencial a la hora de romper tabúes y neutralizar los prejuicios y el estigma social que marcan el trastorno mental. Un ejemplo corresponde a la creencia tan extendida como infundada de que la mayoría de los enfermos mentales son seres violentos, lo que justifica su discriminación. Estos estereotipos crean enormes problemas para los enfermos y sus familiares, y dificultan su integración en la sociedad.

Al estar el concepto de enfermedad mental tan ligado a las pautas morales de la época, la divulgación también ha educado a la población sobre la verdadera naturaleza de ciertos comportamientos. Este fue el caso de la homosexualidad, que en 1952 fue catalogada, sin base científica alguna, como trastorno de la personalidad. Afortunadamente, la validez de este diagnóstico fue impugnada por científicos y divulgadores, y en 1974 la homosexualidad fue excluida del catálogo de patologías psiquiátricas. En el caso de la depresión, la difusión de conocimientos ha contribuido a que hoy sea aceptada como una enfermedad y no como un signo de debilidad de carácter. Y la drogodependencia, que hasta hace pocos años se consideraba un problema moral, se reconoce como una enfermedad que tiene tratamiento.

Algo similar ha ocurrido con otros trastornos de más reciente divulgación, como la anorexia, el estrés postraumático y el TDAH. El reconocimiento de estas dolencias y sus tratamientos ha servido de incentivo para que los afectados busquen abiertamente ayuda profesional.

Gracias a la divulgación y a las nuevas tecnologías que permiten visualizar el cerebro en funcionamiento, cada día son más los convencidos de que para enten-



Luis Rojas Marcos es profesor de psiquiatría en la Universidad de Nueva York y autor de numerosos libros de divulgación.

en este campo y es donde los museógrafos más claro tienen que ellos son también autores. Aquí ha nacido quizás el concepto de «museo de autor». La museografía científica moderna se ve capaz hoy de explicar cualquier historia, aunque esta pertenezca a una realidad invisible para nuestros sentidos. Se han roto casi todas las fronteras. Los museos de física y de biología ya empiezan a tener la misma dirección en la ciudad, la misma calle y el mismo número. Hoy se habla también de crear atmósferas en las que conviven la ciencia y el arte.

Durante siglos, los museógrafos científicos no se han considerado creadores. Pero hace unos años que esto ha empezado a cambiar, y hoy en día se puede asegurar que cualquier ciudad del país aspira y espera disfrutar de un museo científico como si fuera una especie de universidad para ciudadanos. Continuará.

der la mente humana es preciso tener en cuenta los centros cerebrales y las sustancias transmisoras responsables de fraguar nuestras emociones y dirigir nuestro comportamiento.

Recientemente, la psiquiatría ha añadido a su misión tradicional de tratar patologías la tarea de promover el bienestar emocional. Por eso, cada día un mayor número de personas acuden a médicos de la mente y psicólogos para fortificar la autoestima, nutrir la perspectiva optimista, disfrutar de las relaciones afectivas o fortalecer el sentido de control sobre su vida. Y este es precisamente el objetivo marcado por la Organización Mundial de la Salud cuando el 22 de julio de 1946 estableció que la salud no es solamente la ausencia de enfermedad, sino «un estado de completo bienestar físico, mental y social... condición básica para la felicidad, las relaciones armoniosas y la seguridad de todos los pueblos».

Gracias a la divulgación, que me ha dado tanto

La aventura intelectual de un investigador en su intento de acercar la ciencia al gran público

La tarea de divulgador y ensayista científico ha tenido para mí el aliciente de situarse entre mis dos actividades principales: la física y la poesía. La física me ha proporcionado el conocimiento; la poesía, cierta sensibilidad por la vertiente humanística.

Mi primera participación en el mundo de la divulgación fue el artículo «¿Por qué el cielo es azul, el sol rojo y las nubes blancas?», con el cual obtuve en 1980 el premio Divulga del Museo de la Ciencia de Barcelona.

Tres años después, el diario *La Vanguardia* iniciaba una sección de divulgación científica, liderada por Vladimir de Semir, que acogió generosamente mi primera contribución, sobre el centenario de Peter Debye. Su entusiasta recepción hizo que al cabo de poco le enviara un nuevo artículo, que fue asimismo publicado. Dos de mis amigos y colegas, Carlos Pérez García, de la Universidad de Navarra, y Josep-Enric Llebot, de la Universidad Autónoma de Barcelona, se unieron pronto al proyecto.

Al cabo de pocos artículos, sin embargo, empezamos a tener la sensación de haber agotado los temas de nuestra especialidad, y advertimos el esfuerzo que deberíamos hacer si pretendíamos continuar: estudiar nuevos temas, estar atentos a las novedades, adquirir libros de divulgación para aprender a expresarse... Así lo hicimos. ¡Cómo enriqueció ese impulso nuestras clases, proporcionándonos una visión más amplia y amena de la física! ¡Cuántas cosas aprendimos!

La sección de *Ciencia y Tecnología* fue un éxito. Se publicaba los domingos, en un suplemento a todo color, con fotografías y con las ilustraciones del gran Fernando Krahn. Hacia 1990, Vladimir organizó una exposición de esa obra gráfica, acompañada por poemas míos, que dio lugar al libro-catálogo *El color de la ciencia*.

El suplemento desapareció en 1994. Inicié entonces una serie de libros ensayísticos sobre cosmología, biofísica del cerebro, ciencia y teología, poesía del infinito, el tiempo, la materia, la física cuántica... libros entre la ciencia, la historia y la filosofía. Colaboré también con *Investigación y Ciencia*, sobre todo en la sección de reseñas «Libros».



David Jou es catedrático de física de la Universidad Autónoma de Barcelona, escritor y poeta.

Debo muchísimo a la divulgación: ha abierto el compás de mis intereses y conocimientos, ha enriquecido mi docencia, ha inspirado mi poesía, me ha puesto en contacto con personas interesadas por esos temas y me ha ayudado a tratar con mayor precisión el lenguaje —recuerdo en este punto la meticulosidad que me inculcó José María Valderas, entonces director de *Investigación y Ciencia*—. Desde 1988, he dado unas cuatrocientas conferencias sobre ciencia. Sin ese esfuerzo comunicador, mi vida intelectual habría sido diferente.

A lo largo de esta trayectoria la lectura de *Investigación y Ciencia* me ha estimulado y entusiasmado. Por ello continúo recomendándola a mis alumnos. El mundo ha cambiado, pero la aventura de conocer halla en esta revista un fecundísimo testimonio, del que soy agradecido deudor.



EL LUGAR MÁS VACÍO DEL UNIVERSO

Los intentos por explicar una extraña zona fría en el fondo cósmico de microondas han revelado algo aún más extraño: ***una extensión descomunal que apenas contiene materia***

István Szapudi

Si desea observar la luz más antigua del universo, sintonice un televisor antiguo entre dos canales cualesquiera. Las diminutas manchas que aparecen y se desvanecen en la pantalla se deben al implacable bombardeo de fotones que se emitieron poco después de la gran explosión, hace unos 13.800 millones de años. Estas partículas llegan de manera uniforme desde todas las direcciones del espacio, tienen asociada una temperatura promedio de 2,7 grados Kelvin (unos 270 grados Celsius bajo cero) y conforman el llamado fondo cósmico de microondas (CMB, por sus siglas en inglés). Dada su gran antigüedad, el mapa bidimensional del CMB (una representación de la radiación procedente de todo el cielo) suele describirse como una «foto de recién nacido» del universo. Esa imagen nos brinda una ventana única para estudiar las condiciones primigenias que dieron lugar al cosmos actual.

ILUSTRACIÓN DE MARIA CORTE MAIDAGAN



Sin embargo, ese recién nacido no está exento de imperfecciones. Quienes nos dedicamos a analizarlas las denominamos «anomalías», ya que no pueden explicarse completamente a partir de las teorías cosmológicas estándar. La mayor de ellas, detectada en 2004 por el satélite WMAP, de la NASA, es la llamada «mancha fría»: una región del hemisferio sur galáctico unas veinte veces mayor que la luna llena y en la que los ancestrales fotones del CMB muestran una temperatura mucho menor que la media. La mancha fría no es muy diferente de un lunar en el rostro de nuestro bebé. Para algunos es una fea verruga que arruina la majestuosa simetría del CMB, mientras que para otros no hace sino acentuar las particularidades de nuestro universo y ensalzar aún más la fascinación que produce. Personalmente, me posiciono en este último grupo: siempre me ha cautivado esta anomalía y las razones que hayan podido causarla.

La mancha fría ha suscitado una animada discusión entre especialistas. Una posibilidad es que se trate de una fluctuación aleatoria sin ninguna causa concreta, aunque la probabilidad de que una anomalía así haya surgido por puro azar es baja: alrededor de 1 entre 200. Las alternativas varían entre lo prosaico y lo fantástico: desde fallos en los instrumentos de observación hasta la posibilidad de que se trate de un portal hacia otro universo o hacia dimensiones desconocidas.

En 2007, extrapolando a partir de varios fenómenos conocidos, otros expertos y el autor de estas líneas propusimos que la mancha fría podría deberse a la existencia de un «supervacío»: una vasta extensión de espacio relativamente yerma de materia y de galaxias. Dicha región constituiría el lugar más vacío del cosmos, un excepcional y gigantesco desierto en mitad de un entorno relativamente denso. La propuesta acarreaba profundas implicaciones. En caso de que semejante vacío existiera y hubiese causado la mancha fría del modo en que habíamos imaginado, el fenómeno podría aportar pruebas de la energía oscura, el hipotético agente responsable de la expansión acelerada del universo [*véase* «El rompecabezas de la energía oscura», por A. Riess y M. Livio; Investigación y Ciencia, mayo de 2016]. Hace poco, nuestro equipo de la Universidad de Hawái confirmó la existencia de ese inmenso vacío, y estamos obteniendo tentadores indicios de que podría llegar a dar cuenta de la mancha fría.

István Szapudi es cosmólogo de la Universidad de Hawái. Sus investigaciones se centran en la estructura a gran escala del universo.



TRAVESÍA POR EL DESIERTO

La idea de que la mancha fría pudiera deberse a la existencia de un supervacío surgió al considerar la forma en que creemos que la luz interacciona con los vacíos cósmicos de menor tamaño. El supervacío postulado sería excepcional, pero los de tamaño moderado son bastante comunes en el universo. En el extremo opuesto se hallan los cúmulos galácticos, los cuales pueden llegar a aglomerar miles de galaxias. Se cree que las «semillas» de los cúmulos y de los vacíos cósmicos se remontan al universo primitivo, cuando los procesos cuánticos aleatorios provocaron que, en algunos puntos del espacio, la materia fuera ligeramente más o menos densa que en el resto. La masa acumulada en las regiones más densas habría ejercido una mayor atracción gravitatoria sobre el entorno, lo que, con el tiempo, habría derivado en una acumulación de materia cada vez mayor, apartándola de las regiones donde la densidad inicial era más baja. De esas zonas inicialmente más pobladas nacieron los cúmulos de galaxias, mientras que de las menos densas habrían surgido los vacíos cósmicos.

Debido a la poca materia que contienen, los vacíos se comportan como una colina para cualquier cosa que intente atravesarlos. A medida que una partícula se adentra en el vacío y deja atrás la atracción gravitatoria de las regiones más densas que lo rodean, va perdiendo velocidad, como si se tratase de una bola que rueda cuesta arriba. Y, una vez que comienza a salir hacia regiones más densas, se acelera, como si rodase cuesta abajo. Los fotones del CMB se comportan de forma similar, aunque no alteran su velocidad (la velocidad de la luz se mantiene siempre constante), sino su energía, la cual es proporcional a la temperatura. Cuando un fotón penetra en el vacío, «sube la colina» y pierde energía; esto es, se enfría. Y, cuando lo abandona, «baja por la pendiente» y recupera la energía perdida. En principio, eso implicaría que cada fotón tendría que llegar al otro extremo con la misma temperatura con la que entró.

Hace dos décadas, sin embargo, se descubrió que el universo no solo se expande, sino que lo hace a una velocidad cada vez mayor. La mayoría de los expertos atribuyen esa aceleración cósmica a la energía oscura, un misterioso agente que permea todo el espacio y que ejerce una presión negativa, con lo que parece contrarrestar la atracción gravitatoria. La expansión acelerada añade un interesante matiz a nuestro modelo de la colina: desde el punto de vista de un fotón del CMB, el fenómeno se traduce en que, antes de llegar al otro lado, se habrá producido el equivalente a un ascenso de la llanura sobre la que se asienta la colina. Por tanto, el «suelo» en el punto de salida estará algo más elevado que en el punto de entrada. Como resultado, el fotón no podrá recuperar toda la energía que perdió mientras subía por la colina; es decir, experimentará una pérdida neta de energía al atravesar el vacío. Así pues, en las inmediaciones de las regiones con una baja densidad de materia, deberíamos observar una disminución de en la temperatura del CMB. Este fenómeno recibe el nombre de «efecto Sachs-Wolfe integrado» (ISW, por sus siglas en inglés). También se produce en los supercúmulos de galaxias; solo que, en este caso, los fotones expe-

EN SÍNTESIS

El fondo cósmico de microondas, la luz emitida poco después de la gran explosión, muestra una enigmática «mancha fría» en el hemisferio sur galáctico: una zona donde los fotones presentan una temperatura muy inferior a la media.

Descubierta en 2004, los cosmólogos aún ignoran a qué se debe. Una posible explicación sería la existencia de un «supervacío», una descomunal extensión de espacio sin apenas galaxias, situado en la misma dirección que la mancha fría.

Hace poco se ha descubierto uno. Aunque aún hacen falta más datos para determinar si constituye la causa de la mancha fría, su existencia podría poner a prueba la energía oscura y algunas teorías alternativas de la gravedad.



LAS OBSERVACIONES del Telescopio de Sondeos Panorámicos y Sistema de Respuesta Rápida (Pan-STARRS), en la isla hawaiana de Maui, han contribuido a identificar un supervacío: una inmensa extensión de espacio con muchas menos galaxias de lo habitual.

CORTESÍA DE ROB RATKOWSKI Y EL OBSERVATORIO PS1

rimentan un aumento neto de energía, pues cruzan un extenso dominio en el que la densidad de materia se encuentra por encima del promedio.

En general, se espera que el efecto ISW resulte minúsculo. Incluso para grandes vacíos, las variaciones de temperatura asociadas deberían hallarse por debajo de las fluctuaciones típicas del CMB. Estas últimas son del orden de una parte entre 10.000, y se deben a las pequeñas diferencias de densidad que ya existían en el universo naciente en el momento en que se emitió la luz. Pero, en el caso de un vacío verdaderamente inmenso (un supervacío), nos percatamos de que el efecto ISW sí podría bastar para generar una mancha fría como la observada en el CMB. Si pudiéramos demostrar que dicho supervacío realmente existe y que es el responsable de la anomalía, habríamos logrado algo más que explicar la mancha fría: tendríamos también una prueba irrefutable de la energía oscura, ya que el efecto ISW solo puede ocurrir si la energía oscura actúa sobre el universo y acelera su expansión.

A LA CAZA DEL SUPERVACÍO

Los astrónomos comenzaron a buscar un supervacío en la dirección de la mancha fría en el año 2007. Sin embargo, detectar una estructura tan vasta resulta más difícil de lo que puede parecer a simple vista. La mayor parte de los muestreos astronómicos proporcionan imágenes bidimensionales del cielo que no indican a qué distancia se encuentran los objetos que aparecen en ellas. Las galaxias observadas podrían estar muy agrupadas o hallarse separadas por grandes distancias a lo largo de la línea de visión. Para averiguarlo, es necesario recabar información adicional sobre cada una de las galaxias para estimar sus distancias, un trabajo laborioso y, en muchas ocasiones, prohibitivamente caro.

En 2007, durante un examen del catálogo de galaxias NVSS, obtenido por el Observatorio Nacional de Radioastronomía estadounidense, el investigador de la Universidad de Minnesota Lawrence Rudnick y sus colaboradores descubrieron una región del espacio con menos galaxias que la media y aproximadamente alineada con la mancha fría. A pesar de que el catálogo NVSS no incluye ningún dato que permita determinar las distancias a las galaxias, los expertos sabían que la mayor parte de ellas se encontraban muy lejos. A partir de esa información, formularon la hipótesis de que un vacío extraordinariamente extenso, tanto como para producir la mancha fría mediante el efecto ISW, podría hallarse a unos 11.000 millones de años luz. No obstante, había un problema: la luz que nos llega hoy habría atravesado ese vacío tan lejano hace unos 8000 millones de años (no son 11.000 millones de años ya que, desde aquel momento, el universo observable ha aumentado considerablemente su tamaño). Por aquel entonces, la energía oscura no actuaba con tanta intensidad como hoy y, por tanto, el efecto ISW podría resultar demasiado débil para explicar la mancha fría.

Si bien el trabajo de Rudnick no constituía una prueba concluyente de la existencia de un supervacío, la idea captó nuestra atención. Junto con Ben Granett y Mark Neyrinck, por aquel entonces estudiante de doctorado e investigador posdoctoral en la Universidad de Hawái, respectivamente, efectuamos un

análisis estadístico para determinar con qué frecuencia las pequeñas irregularidades del CMB (zonas relativamente calientes o frías, pero menos extremas que la mancha fría) coincidían con los cúmulos y vacíos cósmicos ya conocidos. Al hacerlo, comprobamos que tales coincidencias eran habituales. Aunque ninguna de las estructuras conocidas revestía suficiente magnitud para explicar la mancha fría, los resultados nos convencieron de que la búsqueda de un supervacío en esa dirección del cielo no era descabellada.

Llegados a ese punto, planificamos una serie de observaciones con el Telescopio Canadá-Francia-Hawái, en Mauna Kea, para estudiar varias regiones estrechas en torno a la mancha fría y contar el número de galaxias que aparecían en ellas. Para nuestra decepción, cuando efectuamos las observaciones, a principios de 2010, no encontramos ningún indicio de un supervacío a la distancia predicha por Rudnick. Es más, nuestros datos descartaban la existencia de un supervacío a distancias superiores a 3000 millones de años luz. Un estudio similar llevado a cabo por Malcolm Bremer, de la Universidad de Bristol, y sus colaboradores tampoco arrojó ningún resultado.

Al mismo tiempo, la significación estadística del artículo original de Rudnick fue reevaluada por otros autores y resultó ser menor de lo que se pensaba. En consecuencia, durante un tiempo dio la impresión de que debíamos abandonar la idea de explicar la mancha fría en términos del efecto ISW.

Pero no todo estaba perdido. En nuestro análisis había algunos indicios que sugerían que tal vez sí hubiese un supervacío a una distancia menor. Paradójicamente, con el tipo de datos que habíamos obtenido con el telescopio Canadá-Francia-Hawái, descubrir un vacío cercano resultaba más difícil que hallar uno lejano. Debido a las regiones que habíamos observado, cuanto mayor fuese la distancia, mayor sería el área física que cubrían las observaciones y, por tanto, más preciso sería el recuento de galaxias. A distancias cortas, donde el área asociada al campo de visión resulta menor, la significación estadística es baja. Como consecuencia, la probabilidad de que nuestros indicios sobre una región con un reducido número de galaxias se debiesen a la existencia de un supervacío cercano apenas llegaba al 75 por ciento: para los estándares científicos, un mero rayo de esperanza. Zanjar la cuestión requería observar un área mucho mayor, que básicamente abarcase por completo la mancha fría. Por aquel entonces, los telescopios a los que teníamos acceso no nos permitían lograr la cobertura necesaria. Granett defendió su tesis doctoral y en estos momentos trabaja en el Observatorio Astronómico de Brera, en Italia, mientras que Neyrinck se trasladó a la Universidad Johns Hopkins, en EE.UU.

UN GOLPE DE SUERTE

Por fortuna, al cabo de unos años tuve la oportunidad de obtener un nuevo conjunto de datos. Hacia la misma época en que me despedía de Granett y Neyrinck, el Instituto de Astronomía de la Universidad de Hawái, la institución a la que pertenezco, acababa de finalizar la construcción del PS1, un nuevo telescopio que habría de constituir el observatorio inicial del Telescopio de Sondeos Panorámicos y Sistema de Respuesta Rápida (Pan-STARRS). Aquello era exactamente lo que necesitaba. Equipado con la mayor cámara del mundo, de 1,4 gigapíxeles, el instrumento se encuentra a unos 3000 metros de altitud, en el volcán Haleakala de la isla de Maui.

En mayo de 2010, como parte de un consorcio de varias universidades, comenzamos a cartografiar tres cuartas partes del cielo con el PS1. Aún recuerdo intentar convencer a Nick Kaiser, por aquel entonces investigador principal de Pan-STARRS, de que, en cuanto el instrumento viese su primera luz, debíamos

Una fría colina cósmica

Un gran vacío cósmico (una enorme región del espacio con muchas menos galaxias de lo normal) descubierto en fecha reciente podría explicar una misteriosa «mancha fría» observada hace más de una década en el fondo cósmico de microondas (*abajo*). Al atravesar el supervacío, esta radiación pudo haberse enfriado a causa de un proceso conocido como efecto Sachs-Wolfe integrado (*derecha*).



1 ¿QUÉ ES LA MANCHA FRÍA?

El fondo cósmico de microondas (CMB) es la luz más antigua del universo; emitida poco después de la gran explosión, hoy continúa viajando por todo el cosmos. El mapa celeste del CMB (*abajo*) representa las leves diferencias de temperatura entre los fotones que llegan desde las distintas direcciones, con las regiones más calientes que la media (fotones más energéticos) en rojo y las más frías (fotones menos energéticos) en azul. En 2004 se detectó una enigmática «mancha fría» (*círculo*): una zona con una temperatura demasiado baja para admitir una explicación sencilla.

El efecto de un supervacío sobre un rayo de luz en un universo estático...

Supervacío

La luz pierde energía en el vacío

La luz recupera la energía al salir del vacío

Tierra

... difiere del que se produce en un universo en expansión acelerada

La luz recupera parte de su energía, pero no toda, al abandonar el vacío

Expansión

Supervacío

3 ¿QUÉ ES EL EFECTO SACHS-WOLFE INTEGRADO?

Cuando la luz cruza un supervacío, se comporta de manera parecida a una bola que rueda sobre una colina. Dado que en el vacío la materia escasea, su atracción gravitatoria es menor que la de las zonas circundantes. Eso provoca que un objeto que se adentre en él se frene (como una bola que rueda cuesta arriba) y que uno que lo abandone se acelere (como si rodase cuesta abajo). Aunque la velocidad de la luz es constante, los fotones ganan o pierden energía, la cual es proporcional a la temperatura.

En un universo estable, la luz perdería energía y la recuperaría después, por lo que saldría con la misma energía con la que entró. Sin embargo, la expansión acelerada cambia las reglas del juego. Dado que el vacío —y todo el espacio— se expande mientras la luz lo cruza, el efecto equivale a elevar la altitud de la llanura sobre la que se asienta la colina. Al salir, los fotones no vuelven a la «altitud original», por lo que no recuperan toda la energía que perdieron y, como consecuencia, muestran una temperatura menor.

2 ¿CÓMO INFLUYE EL SUPERVACÍO?

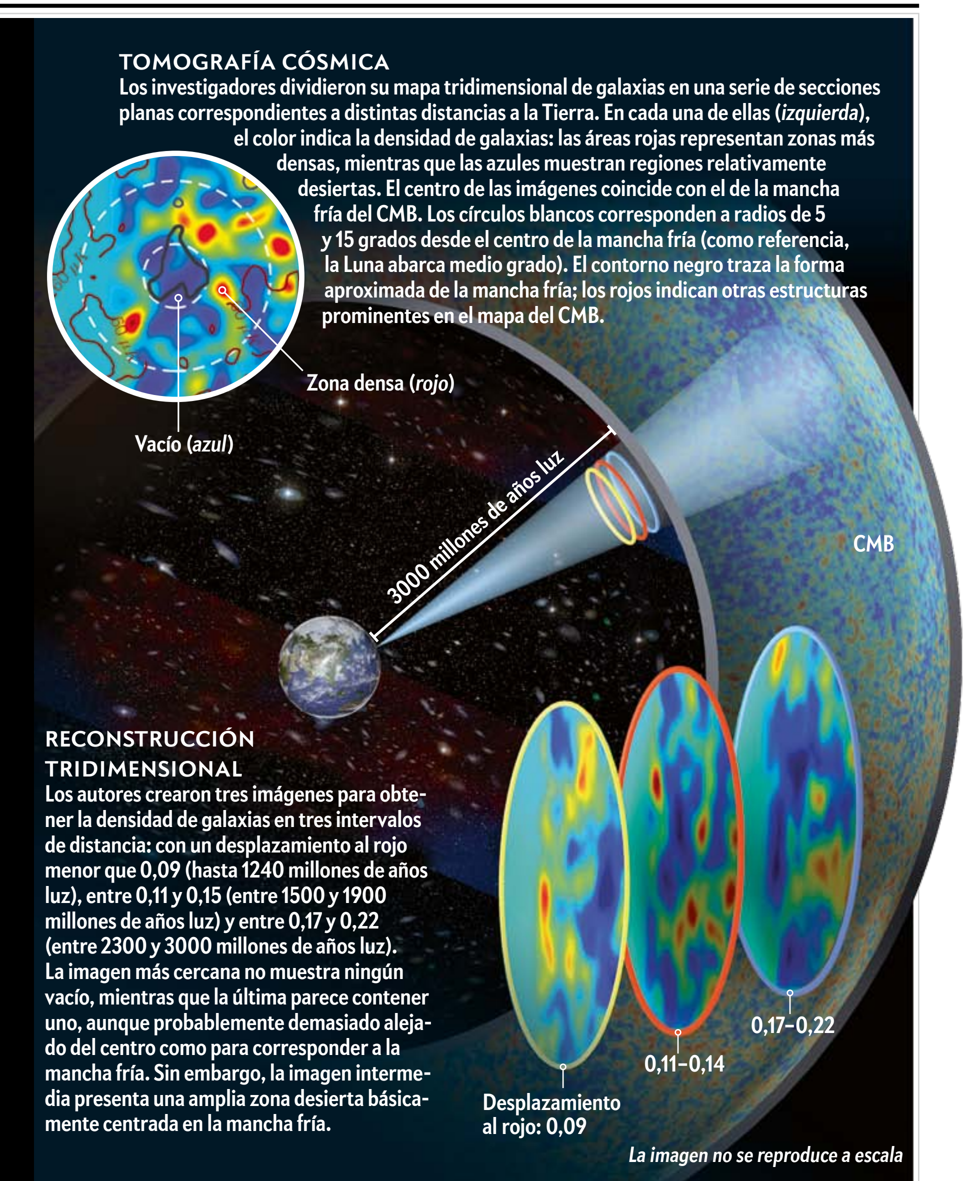
En 2015 se descubrió un supervacío a unos 3000 millones de años luz de la Tierra y alineado con la mancha fría, lo que podría explicarla. Para entender por qué, resulta útil imaginar el universo como un conjunto de esferas concéntricas. El espacio (*esferas*) se expande, y así lo hace también la región de origen del CMB (*esfera externa*), la radiación que fue emitida en la infancia del universo, hace unos 13.800 millones de años. En su camino hacia la Tierra, parte de esa luz (*ondulaciones*) atravesó el supervacío, donde podría haberse enfriado debido al efecto Sachs-Wolfe integrado 3.

La imagen no se reproduce a escala

MOONRUNNER DESIGN (*ilustración*); CORTESÍA DE ESA Y PLANCK COLLABORATION (CMB)

En busca de un supervacío

Para identificar un supervacío que pudiera justificar la mancha fría del CMB, el autor y sus colaboradores examinaron los catálogos de galaxias obtenidos por los proyectos WISE, 2MASS y Pan-STARRS. Ello les permitió obtener la posición celeste de un gran número de galaxias. Sin embargo, determinar la existencia de un vacío cósmico exige conocer también la distancia a cada galaxia. A tal fin, los investigadores examinaron los colores ópticos de cada una, lo que permite estimar cuánto se ha desplazado su luz hacia el extremo rojo del espectro. Este efecto se debe a la expansión del universo: cuando el espacio se estira, también lo hace la longitud de onda de la luz que viaja a través de él. Cuanto mayor es el desplazamiento al rojo de una galaxia, mayor es su distancia a la Tierra. Al combinar la posición celeste y la distancia estimada de las galaxias, los autores obtuvieron un mapa tridimensional de la distribución de galaxias en la dirección de la mancha fría.



apuntar a la zona de la mancha fría antes que a ninguna otra. Aunque finalmente no ocurrió así, dicha región se hallaba en el área que el telescopio muestrearía durante sus primeros años de operación, por lo que las medidas que necesitaba irían llegando poco a poco.

Mientras aguardaba con impaciencia los nuevos datos, comencé a trabajar con el entonces estudiante de posgrado András Kovács con el objetivo de analizar los datos sobre el CMB obtenidos por los satélites Planck y WMAP, así como para estudiar una reciente base de datos de galaxias basada en observaciones en el infrarrojo llevadas a cabo por el satélite WISE, de la NASA. La idea era estudiar el efecto ISW y, de ser posible, localizar un supervacío.

Kovács me visitó en Hawái durante algunos meses en varias ocasiones, y en los veranos viajé a Budapest, donde él estudiaba en la Universidad Eötvös Loránd. El resto del tiempo manteníamos teleconferencias semanales y, debido a las 12 horas de diferencia entre Honolulu y Budapest, nuestras conversaciones a menudo se alargaban hasta bien entrada la noche europea. Durante una de las primeras sesiones, le pedí que identificase las regiones de baja densidad más extensas incluidas en el catálogo de galaxias de WISE. Unos días más tarde, me envió un correo electrónico con las imágenes y coordenadas de los mayores vacíos. En cuanto leí el mensaje, vi que uno de ellos se encontraba en la misma región del cielo que la mancha fría. Kovács aún no sabía de mi interés por establecer una conexión entre la mancha fría y un supervacío, de modo que el hallazgo fue emocionante por partida doble. Puesto que Kovács no había recibido indicación alguna de buscar en la dirección de la mancha fría, sus resultados no podían estar sesgados por el anhelo de que un vacío apareciese justamente allí. Por otra parte, las galaxias detectadas por WISE se encontraban más cerca que las del catálogo NVSS, lo que volvía a apoyar la idea de que tal vez debíamos buscar el supervacío en el universo cercano.

A partir de entonces, trabajamos durante años hasta convertir las pistas iniciales en un descubrimiento. Para ello, combinamos los muestreos de galaxias obtenidos por WISE, Pan-STARRS y el Sondeo de Todo el Cielo a Dos Micras (2MASS). Sin embargo,

MOONRUNNER DESIGN (*ilustración*); FUENTE: «DETECTION OF A SUPERVOID ALIGNED WITH THE COLD SPOT OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND», POR ISTVÁN SZAPUDI ET AL. EN *MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY*, VOL. 450, N.º 1, JUNIO DE 2015

SI TE INTERESA ESTE TEMA...

Descubre *Origen y evolución del universo*, un monográfico de nuestra colección *Temas* con el que podrás profundizar en los fundamentos de la cosmología moderna, sus principales líneas de investigación y los grandes retos a los que aún debe hacer frente.



www.investigacionyciencia.es/revistas/temas/numero/72

necesitábamos asignar distancias a dichas galaxias. Una forma de estimar cuán lejos se encuentra una galaxia consiste en medir su desplazamiento al rojo; es decir, en qué proporción se ha alargado la longitud de onda de su luz como consecuencia de la expansión cósmica. Cuanto más lejos se halla una galaxia, más rápido se aleja de nosotros y, por tanto, más acusado es su desplazamiento al rojo. Aunque no teníamos acceso a mediciones precisas del desplazamiento al rojo de nuestras galaxias, sí podíamos obtener una estimación aproximada analizando sus colores y comparando los datos con nuestras suposiciones sobre cómo debería ser el brillo «sin desplazar» en las distintas bandas cromáticas observadas.

Finalmente, logramos asignar una distancia a cada una de las galaxias en la dirección de la mancha fría y confeccionamos una serie de secciones tomográficas: imágenes bidimensionales del universo correspondientes a distintas distancias desde la Tierra. El primer conjunto de ellas mostraba el aspecto de una manzana cortada en rebanadas verticales, lo que revelaba un supervacío aproximadamente esférico, más acusado en su parte central. Al parecer, ese vacío descomunal había estado escondido muy cerca de nosotros, a apenas 3000 millones de años luz de distancia, y esa era la razón por la que había resultado tan difícil dar con él.

Durante los meses siguientes revisamos la estadística de nuestros datos: las pruebas a favor del supervacío eran contundentes. En otras palabras, estamos firmemente convencidos de la existencia de una gigantesca región de baja densidad alineada con la mancha fría del CMB. Se trata, de hecho, de un vacío descomunal: con un diámetro de unos 1800 millones de años luz, posiblemente sea la mayor estructura cósmica jamás observada. Y también una de las más exóticas: las teorías cosmológicas apuntan a que, en todo el universo observable, solo debería de haber unos pocos supervacíos similares.

ENTENDER LA MANCHA FRÍA

Por fin habíamos encontrado nuestro supervacío. Ya sabíamos, a partir de nuestros estudios anteriores, que los vacíos y los cúmulos causan un efecto detectable en el CMB, dando lugar a pequeñas zonas frías y calientes. Y el supervacío que habíamos encontrado se encontraba, efectivamente, alineado con la anomalía más significativa del CMB. Problema resuelto, ¿no?

No del todo. La mera presencia del supervacío alineado con la mancha fría no basta para concluir que el primero es causa directa de la segunda. Podría ocurrir, por ejemplo, que el alineamiento fuese fruto de la casualidad, si bien nuestros análisis indican que, siendo conservadores, la probabilidad de que el supervacío haya producido la mancha fría es unas 20.000 veces superior a la de que se trate de una simple coincidencia.

Existe, sin embargo, un problema mayor. A pesar de que el supervacío se encuentra en el lugar adecuado para explicar la mancha fría, no reviste el tamaño necesario. Para justificar por qué la temperatura de la mancha fría está tan por debajo del promedio, el supervacío tendría que ser aún mayor de lo que parece, quizá el doble o el cuádruple. Semejante discrepancia resulta tan difícil de digerir que algunos expertos opinan que la mancha fría no es más que un mero accidente y que deberíamos buscar otras explicaciones; por ejemplo, que las galaxias están emitiendo menos radiación hacia el espacio de lo que creemos, un fenómeno que hasta cierto punto podría confundirse con el efecto ISW. Además, si bien nuestras observaciones muestran claramente la existencia del supervacío, no nos es posible determinar su tamaño, forma y posición con la certeza suficiente para hacer un cálculo preciso de la magnitud del efecto que cabría esperar. En concreto, si la forma del supervacío estuviera alargada en nuestra dirección, o si varios vacíos esféricos estuvieran «apilados» uno detrás de otro en la dirección de la mancha fría (como en un muñeco de nieve), sería mucho más fácil que el vacío explicase su presencia. Por ende, aún no sabemos hasta qué punto el tamaño del supervacío supone una dificultad para nuestra teoría.

Necesitamos más datos. Ahora estamos planeando repetir nuestro estudio para toda el área del cielo que ha sido cartografiada con el PS1, en lugar de para la primera sección parcial, usando además observaciones mejoradas para reducir los errores de medida. Con ese nuevo conjunto de datos, podremos cuantificar la divergencia entre la teoría y las observaciones para determinar si es necesario replantearnos nuestras ideas sobre el efecto ISW y los vacíos. Tal vez esta discrepancia nos ponga sobre la pista de algo interesante. Por ejemplo, cierta clase de teorías alternativas de la gravedad, que se apartan de la relatividad general, predicen una huella única que solo podría apreciarse en los vacíos. Y, en caso de que alguna de esas teorías resultase ser correcta, el mecanismo ISW podría actuar también de manera diferente. Si nuestro supervacío nos hubiera proporcionado un indicio de ello, estaríamos ante una emocionante oportunidad para entender el universo a un nivel más profundo.

En todo caso, el hallazgo del supervacío nos está brindando información sobre aspectos físicos relevantes. Quizá proporcione una prueba de la existencia de la energía oscura, o tal vez nos revele algo aún más sorprendente sobre el funcionamiento de la gravedad. A lo largo de los próximos años seguiremos aprendiendo más sobre el supervacío y, con ello, sobre la naturaleza de nuestro universo. IyC

PARA SABER MÁS

Detection of a supervoid aligned with the cold spot of the cosmic microwave background. István Szapudi et al. en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 450, n.º 1, págs. 288-294, junio de 2015.

EN NUESTRO ARCHIVO

Disonancia cósmica. Glenn D. Starkman y Dominik J. Schwarz en *IyC*, octubre de 2005.

Defectos del universo. Marcos Cruz en *IyC*, abril de 2010.

BIOLOGÍA CELULAR

UNA DÉCADA DE REPROGRAMACIÓN CELULAR

Diez años después de su descubrimiento, las células madre pluripotentes inducidas están transformando la investigación biológica

Megan Scudellari

«Tenemos colonias.» Shinya Yamanaka miró con sorpresa al investigador posdoctoral que había hablado. «Tenemos colonias», repitió Kazutoshi Takahashi. Yamanaka saltó de su escritorio y siguió a Takahashi hasta la sala de cultivo de tejidos, en la Universidad de Kioto. A través del microscopio vieron pequeños racimos de células: la culminación de cinco años de trabajo y un logro que Yamanaka ni siquiera estaba seguro de que fuera posible.

Dos semanas antes, Takahashi había tomado células de la piel de ratones adultos para infectarlas con un virus diseñado para introducir 24 genes cuidadosamente elegidos. Ahora, las células se habían transformado. Se parecían y se comportaban como células madre embrionarias. Eran células «pluripotentes», con la capacidad de convertirse en células de la piel, del sistema nervioso, de los músculos o casi de cualquier otro tipo. Yamanaka contempló la alquimia celular delante de él. «En ese momento pensé que debía tratarse de un error», recuerda. Le pidió a Takahashi que realizara el experimento una y otra vez. Cada vez funcionó.

Durante los dos meses siguientes, Takahashi redujo los genes justo a los cuatro necesarios para dar marcha atrás al reloj del desarrollo. En junio de 2006, Yamanaka presentó sus resultados ante una sala llena de científicos asombrados, en la reunión anual de la Sociedad Internacional para la Investigación con Células Madre, en Toronto. Denominó células madre embrionarias a las nuevas células, pero más tarde se referiría a ellas como células madre pluripotentes inducidas (CMPI). «Muchas personas simplemente no se lo creyeron», explica Rudolf Jaenisch, biólogo del Instituto de Tecnología de Massachusetts en Cambridge, que se hallaba en la sala. Pero Jaenisch, que conocía el trabajo de Yamanaka y confiaba en él, pensó que era ingenioso.



LA REPROGRAMACIÓN CELULAR se está utilizando para modelizar y estudiar en el laboratorio distintas enfermedades, entre ellas el párkinson. Las neuronas productoras de dopamina de la imagen se han obtenido a partir de células cutáneas de personas con esta enfermedad.

Las células prometían ser de gran ayuda para la medicina regenerativa: los investigadores podrían tomar de una persona células cutáneas, sanguíneas o de otro tipo, programarlas a CMPI, y luego usarlas para producir hepatocitos, neuronas o lo que fuera necesario para el tratamiento de una enfermedad. Esta terapia personalizada evitaría el riesgo de rechazo inmunitario, además de dejar de lado las preocupaciones éticas sobre la utilización de células derivadas de embriones.

Diez años después, las aplicaciones son otras, en parte porque el desarrollo de esas terapias ha planteado dificultades. El único ensayo clínico en el que se usaron CMPI se detuvo en 2015 después de que solo una persona hubiese recibido un tratamiento.

Las CMPI han dejado su impronta de una manera diferente. Se han convertido en una importante herramienta para modelizar e investigar enfermedades humanas, así como para el cribado de fármacos. Las formas mejoradas de producción de las células, junto con las técnicas de edición genética, han convertido las CMPI en un caballo de batalla de laboratorio, al proporcionar un suministro ilimitado de tejidos humanos otrora inaccesibles para la investigación. Ello ha sido especialmente valioso en los ámbitos del desarrollo humano y las enfermedades neurológicas, comenta Guo-Li Ming, neurocientífico de la Universidad Johns Hopkins en Baltimore, Maryland, que ha estado utilizando CMPI desde 2006.

Pero el campo está topando con dificultades. A medida que crece el número de laboratorios que incorporan las CMPI, los investigadores deben lidiar con la compatibilidad. «El mayor desafío es conseguir que todo el mundo se ponga de acuerdo respecto al control de calidad», apunta Jeanne Loring, especialista en células madre del Instituto de Investigación Scripps en La Jolla, California. «Todavía aparecen artículos en los que los investigadores han realizado un trabajo notable con una línea celular, y resulta que nadie más puede reproducirlo», comenta. «Conocemos bien la técnica. Solo necesitamos que todos la utilicemos del mimo modo.»

DE LA PIEL A LOS OJOS

Seis semanas después de la presentación de sus resultados, Yamanaka y Takahashi publicaron la identidad de los genes responsables de la reprogramación de células adultas: *Oct3/4, Sox2, Klf4* y *c-Myc*. Durante el año posterior, tres laboratorios, incluido el de Yamanaka, confirmaron los resultados y mejoraron el método de reprogramación. Seis meses más tarde, Yamanaka y James Thomson, de la Universidad de Wisconsin-Madison, lograron a la vez reprogramar células adultas humanas. Laboratorios de todo el mundo se apresuraron a usar la técnica: a finales de 2009 se habían publicado unos 300 trabajos sobre las CMPI.

Numerosos laboratorios se centraron en investigar qué tipo de célula adulta podría ser reprogramada y en qué podrían transformarse las CMPI resultantes. Otros buscaron mejorar aún más el protocolo de reprogramación. Primero, con el fin de evitar el empleo de *c-Myc*, un gen con el potencial de convertir algunas células en tumorales, y, más tarde, mediante la aportación de genes que no se integraran en el genoma, para hacer frente a los posibles problemas de seguridad de las terapias basadas en CMPI.

Otra gran cuestión era saber hasta qué punto se asemejaban las CMPI a las células madre embrionarias. Las diferencias comenzaron a emerger. Se descubrió que las CMPI conservaban una «memoria epigenética» (un patrón de huellas químicas en su ADN que refleja el tipo de célula original). Pero los expertos sostienen que estos cambios no deberían afectar al uso terapéutico de las células. «Puede haber algunas diferencias con respecto a las células madre embrionarias, pero no creo que sean relevantes», comenta Jaenisch.

Hacia el año 2012, cuando Yamanaka recibió, junto con John Gurdon, de la Universidad de Cambridge, el premio Nobel de fisiología o medicina por su trabajo, se estaba planificando el primer ensayo en humanos con una terapia basada en CMPI. Masayo Takahashi, oftalmóloga del Centro RIKEN de Biología del Desarrollo (CBD), en Kobe, había estado desarrollando tratamientos a base de células madre embrionarias para enfermedades de la retina cuando Yamanaka publicó el método de reprogramación. La experta adoptó enseguida las CMPI y, pasado un tiempo, comenzó a colaborar con Yamanaka [*véase* «Cultivo ocular», por Yoshiki Sasai; Investigación y Ciencia, enero de 2013].

En 2013, el equipo de Masayo Takahashi obtuvo CMPI a partir de células cutáneas de dos personas que sufrían degeneración macular relacionada con la edad (enfermedad ocular que puede conducir a la ceguera), y las utilizó para crear láminas de células epiteliales pigmentarias de la retina (CEPR) para un ensayo clínico. No mucho después, investigadores del CBD que trabajaban en otra técnica de reprogramación celular (la adquisición de la pluripotencia provocada mediante estímulo, o STAP, por sus siglas en inglés) comenzaron a ser investigados por mala práctica profesional. Aunque sin relación con el ensayo de CMPI, el escándalo hizo que resultara difícil para Takahashi avanzar en sus estudios. Sin embargo, su equipo siguió adelante y, el 12 de septiembre de 2014, los médicos implantaron las primeras láminas de CEPR en el ojo derecho de una mujer de unos setenta años. Takahashi explica que el tratamiento detuvo la degeneración macular y mejoró la visión de la mujer.



Megan Scudellari es periodista científica especializada en ciencias ambientales y de la salud.

EN SÍNTESIS

En 2006, el premio nóbel Shinya Yamanaka logró reprogramar células cutáneas para transformarlas en células madre parecidas a las embrionarias, con capacidad de convertirse en cualquier otro tipo de célula del propio organismo.

Las células prometían ser de gran ayuda para la medicina regenerativa. Con ellas se podría crear cualquier tipo de célula necesaria para el tratamiento de una enfermedad, con lo que se evitaría el rechazo inmunitario. Además, permitirían dejar de lado las preocupaciones éticas sobre el uso de células derivadas de embriones.

Sin embargo, diez años después, las expectativas han cambiado debido a las dificultades que ha planteado la aplicación de esas terapias. La reprogramación celular se ha convertido en una importante herramienta para modelizar e investigar enfermedades.

Pero cuando el laboratorio se preparaba para tratar al segundo participante en el ensayo, el equipo de Yamanaka identificó dos pequeños cambios genéticos tanto en las CMPI del paciente como en las CEPR derivadas de ellas. No hubo pruebas de que la mutación se asociara a la formación de tumores; sin embargo, para andar sobre seguro, Yamanaka aconsejó a Takahashi dejar el ensayo en espera. Y así lo hizo.

La suspensión dio que pensar a otros investigadores interesados en el campo, apunta Paul Knoepfler, especialista en células madre de la Universidad de California en Davis: «Todo el mundo está esperando ver cómo se progresa». Pero los obstáculos con los que las CMPI han tropezado para llegar a la práctica clínica no son tan inusuales, sostiene David Brindley, que estudia la regulación de las células madre y su producción en la Universidad de Oxford. Por lo general, se tarda unos veinte años en llevar un descubrimiento a su adopción clínica y a su comercialización, por lo que las CMPI están siguiendo más o menos la misma trayectoria, indica Brindley.

En Estados Unidos, el Instituto Astellas de Medicina Regenerativa en Marlborough, Massachusetts (la antigua empresa Advanced Cell Technology), tiene en proyecto varios tratamientos basados en CMPI, entre ellos los de la degeneración macular y el glaucoma, según su director científico Robert Lanza. En cualquiera de esas terapias, se necesitan años para elaborar un método apropiado para producir los tipos de células adecuadas en cantidades lo bastante grandes y con la suficiente pureza. «Los tratamientos con CMPI son los más complejos y dinámicos que se hayan propuesto en el ámbito médico», sostiene Lanza. «Soy el primero que quiere ver aplicar estas células en la práctica clínica, pero se necesita mucha precaución.»

El otro gran reto consiste en saber qué exigencias deberán cumplir esos tratamientos para que sean autorizados. Loring espera iniciar un ensayo para tratar la enfermedad de Parkinson en los próximos dos años. Pero no resultará fácil: la estrategia utiliza células derivadas de los propios pacientes, por lo que Loring planea llevar a cabo una compleja serie de comprobaciones y validaciones de cada línea celular a fin de demostrar su seguridad ante la Agencia Federal de Fármacos y Alimentos de EE.UU.

Desarrollar y ensayar un tratamiento en una sola persona ha sido una experiencia instructiva, comenta Yamanaka. Supuso un año de trabajo y un gasto de un millón de dólares. Él espera que las futuras terapias utilicen CMPI derivadas de donantes de un banco de células, en lugar de crearlas para cada paciente.

Masayo Takahashi prevé hacer una comparación paralela entre las CMPI del banco con las derivadas de los pacientes, para observar cualquier diferencia en la reacción inmunitaria. Tiene la intención de solicitar al Gobierno japonés la autorización para reanudar su ensayo sobre la degeneración macular muy pronto.

AVANCES CELULARES

Aunque la terapia celular ha sufrido reveses, otras áreas de investigación han florecido. Los métodos para preparar CMPI son ahora más refinados y elegantes de lo que eran hace cinco años, apunta Knoepfler.

Pero la mayoría de las técnicas de reprogramación son ineficientes: solo una pequeña parte de las células terminan totalmente reprogramadas. Y, al igual que todas las líneas celulares, las CMPI pueden variar de un linaje a otro. Eso ha hecho difícil establecer controles en los experimentos.

Marc Tessier-Lavigne, neurocientífico de la Universidad Rockefeller en Nueva York, se enfrentó a ese reto junto con

NACIMIENTO DE UNA REVOLUCIÓN

El camino de las CMPI

El descubrimiento de Shinya Yamanaka impulsó miles de publicaciones sobre la identidad, las características y los numerosos usos de las células madre pluripotenciales inducidas (CMPI). Resumimos aquí la cronología de estos hallazgos:



SHINYA YAMANAKA, CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y APLICACIÓN DE CMPI, UNIVERSIDAD DE KIOTO (*cultivo celular*); © NOBEL MEDIA/ALEXANDER LJUNGDAHL (*entrega del premio Nobel*)

investigadores de la Fundación de Células Madre de Nueva York al comenzar a trabajar con CMPI derivadas de personas con la forma temprana de la enfermedad de Alzheimer y demencia frontotemporal. Enseguida se dieron cuenta de que la comparación de las CMPI de un paciente con las de un control sano no funcionaba: las células se comportaban de forma muy distinta en cultivo, probablemente como resultado de las diferencias en el fondo genético o la expresión génica. «Así que cambiamos y adoptamos la edición genética», explica Tessier-Lavigne.

La herramienta de edición genética CRISPR/Cas9, que ha ganado gran popularidad en los últimos años [*véase* «La edición genética, más precisa», por Margaret Knox; Investigación y Ciencia, febrero de 2015], ha permitido introducir mutaciones asociadas a una enfermedad en una muestra de CMPI y luego compararlas con la línea celular original sin editar. El laboratorio de Jaenisch utiliza diariamente la técnica CRISPR/Cas9 en CMPI. «Podemos realizar cualquier manipulación que deseemos», afirma el experto.

Los nuevos métodos refinados de edición genética están demostrando ser aún más útiles. El pasado abril, Dominik Paquet y Dylan Kwart, del laboratorio de Tessier-Lavigne, describieron una técnica para introducir mutaciones puntuales en CMPI mediante CRISPR y modificar una sola copia de un gen, en lugar de dos. Ello les permitió generar células con combinaciones precisas de mutaciones asociadas al alzhéimer y estudiar sus efectos.

Pero debido a que las CMPI se asemejan a las células embrionarias, no siempre son ideales para el estudio de enfermedades de aparición tardía, como la demencia. Así que los investigadores están explorando formas de provocar estrés a las células o introducir en ellas proteínas que las envejezcan prematuramente. «Se trata de un inconveniente que no se ha resuelto, aunque existen numerosos enfoques para tratar de abordarlo», comenta Tessier-Lavigne.

El hecho de que las CMPI imiten el desarrollo humano temprano ha demostrado ser útil en otro campo, a saber, la carrera para descubrir el modo en que la infección con el virus del Zika en mujeres embarazadas podría provocar microcefalia, una enfermedad en la que la cabeza del bebé es menor de lo normal. Ming y sus colaboradores han utilizado CMPI para crear organoides de cerebro, que corresponden a fragmentos de tejido que se asemejan a los órganos en desarrollo. Cuando se los expuso al zika, descubrieron que el patógeno infectaba con preferencia las células madre neurales, más que las neuronas recién formadas. Ello conllevaba una mayor mortalidad de las células madre neurales y un menor volumen de una capa de neuronas de la corteza, lo que producía un efecto semejante a la microcefalia.

Otros grupos han utilizado CMPI para crear organoides como miniintestinos y minihígados, y la lista de los descubrimientos sobre enfermedades gracias al empleo de CMPI es cada vez mayor. Ello incluye la demostración de cómo en el glaucoma la duplicación de un gen causa la muerte de varios grupos de células nerviosas, así como la recapitulación de las alteraciones genéticas y celulares asociadas a la enfermedad de Huntington [*véase* «La paradoja de Huntington», por Chiara Zuccato y Elena Cattaneo, *en este mismo número*].

Las CMPI también se han utilizado con cierto éxito en el desarrollo de fármacos. Al proporcionar una fuente abundante de células derivadas del paciente, han ayudado a realizar el cribado o ensayos de nuevos medicamentos. Así, en 2012 se emplearon células madre neuronales derivadas de personas con una enfermedad del desarrollo neuronal, para cribar cerca de 7000 moléculas pequeñas e identificar un fármaco potencial para la enfermedad. Y este año, un equipo informó que había generado neuronas sensoriales a partir de CMPI de personas que sufrían un trastorno de dolor hereditario. Los investigadores demostraron que un compuesto bloqueante del sodio reduce la excitabilidad de las neuronas y alivia el dolor de estos pacientes. Sería estupendo usar las CMPI para predecir si una persona va a responder a un fármaco en particular, comenta Edward Stevens, de la Unidad de Investigación de Neurociencia y Dolor de Pfizer en Cambridge, quien dirigió el estudio, pero se necesitarán más pruebas de que esta estrategia funciona.

Pero incluso después de una década de reprogramación celular, los investigadores no saben con detalle cómo se produce realmente el proceso. Por ahora, el campo se centra en la verificación sistemática de la identidad y la seguridad de las líneas celulares, mediante la comprobación de sus genomas, los patrones de expresión de genes y demás. Uno de estos esfuerzos, el Banco Europeo de Células Madre Pluripotentes Inducidas, centralizado en Cambridge, lanzó públicamente el pasado marzo su catálogo de CMPI estandarizadas para su uso en modelos de enfermedades. Yamanaka también está involucrado en la generación de bancos de CMPI para futuras terapias, y recopila las variedades que podrían ser inmunitariamente compatibles para una amplia población.

Los mayores retos de futuro, opina, no son científicos. Los investigadores van a necesitar un fuerte apoyo de la industria farmacéutica y de los Gobiernos. Para avanzar en las terapias celulares y desarrollar fármacos y modelos de enfermedades, deben ser persistentes y pacientes. Las CMPI solo pueden acortar el proceso del descubrimiento, no saltárselo, comenta. «No hay magia. Con las CMPI, o con cualquier nueva técnica, todavía se necesita mucho tiempo.» IyC

Artículo original publicado en *Nature*, vol. 534, págs. 310-312, 2016.
Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2016

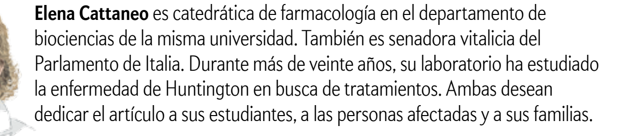
Con la colaboración de nature

PARA SABER MÁS

Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. K. Takahashi y S. Yamanaka en *Cell*, vol. 126, págs. 663-676, 2006.
Induction of pluripotent stem cells from adult human fibroblasts by defined factors. K. Takahashi et al. en *Cell*, vol. 131, págs. 861-872, 2007.
Induced pluripotent stem cell lines derived from human somatic cells. J. Yu et al. en *Science*, vol. 318, págs. 1917-1920, 2007.
Epigenetic memory in induced pluripotent stem cells. K. Kim et al. en *Nature*, vol. 467, págs. 285-290, 2010.
Efficient introduction of specific homozygous and heterozygous mutations using CRISPR/Cas9. D. Paquet et al. en *Nature*, vol. 533, págs. 125-129, 2016.
Brain-region-specific organoids using mini-bioreactors for modeling ZIKV exposure. X. Qian et al. en *Cell*, vol. 165, págs. 1238-1254, 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

Investigación con células madre. Robert Lanza y Nadia Rosenthal en *IyC*, agosto de 2004.
Marcha atrás del reloj celular. Timothy Hornyak en *IyC*, febrero de 2009.
El poder terapéutico de nuestras células. Konrad Hochedlinger en *IyC*, julio de 2010.
Retos de la medicina regenerativa. María José Barrero y Juan Carlos Izpisúa en *IyC*, noviembre de 2012.



Chiara Zuccato es catedrática del departamento de biociencias de la Universidad de Milán. Estudia los mecanismos patogénicos de la enfermedad de Huntington.

Elena Cattaneo es catedrática de farmacología en el departamento de biociencias de la misma universidad. También es senadora vitalicia del Parlamento de Italia. Durante más de veinte años, su laboratorio ha estudiado la enfermedad de Huntington en busca de tratamientos. Ambas desean dedicar el artículo a sus estudiantes, a las personas afectadas y a sus familias.

EVOLUCIÓN

LA PARADOJA de Huntington

El gen causante de una devastadora enfermedad neurodegenerativa puede haber sido crucial para la evolución humana

Chiara Zuccato y Elena Cattaneo

ANDREA UCINI

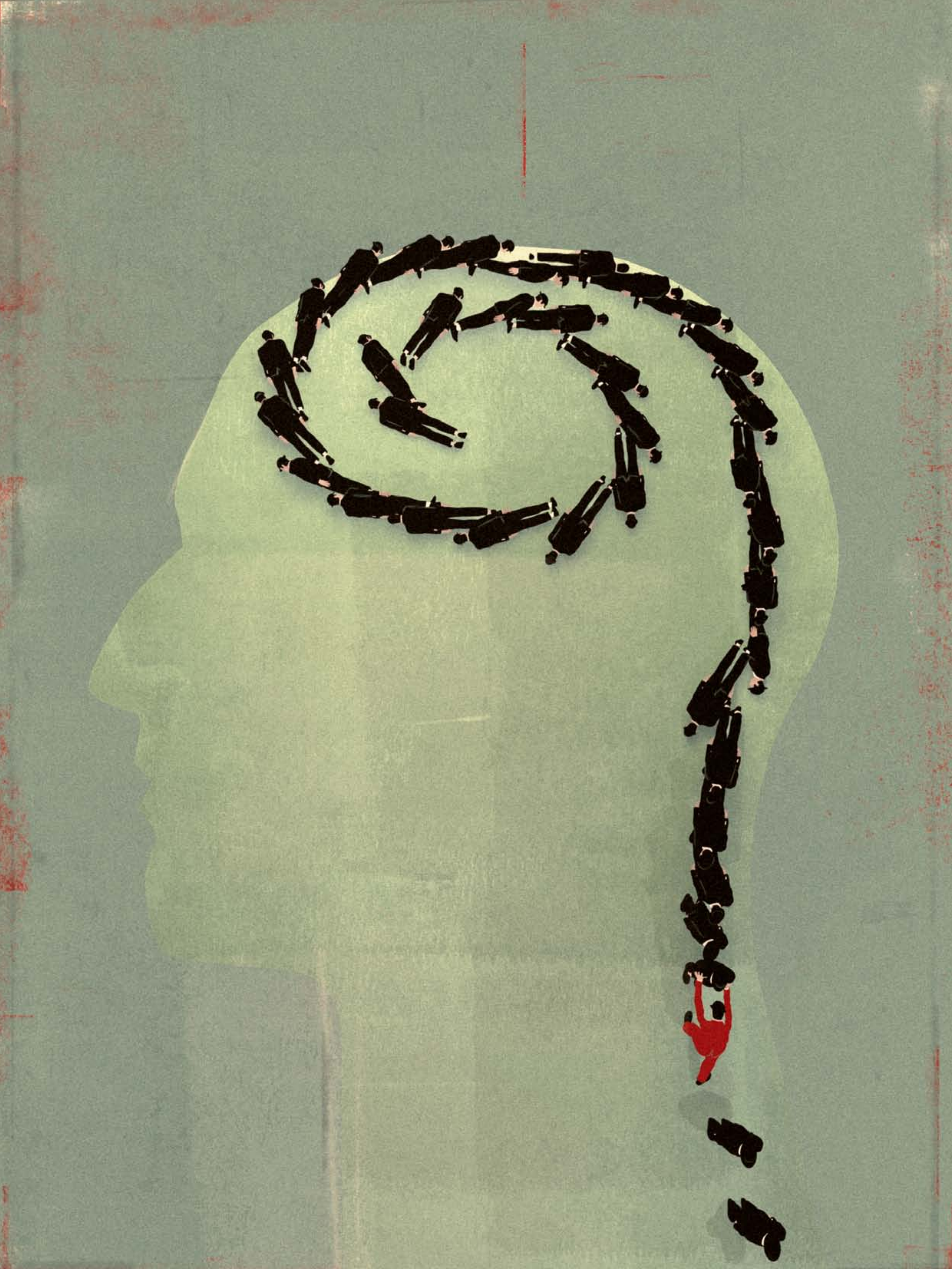
EN SÍNTESIS

La enfermedad de Huntington, un grave trastorno genético que afecta al cerebro, se debe a una mutación en la que algunos nucleótidos (las letras del código genético del ADN de una persona) se repiten demasiado.

Diversos estudios han reconstruido la historia evolutiva del gen afectado: surgido por primera vez hace más de mil millones de años, aún hoy se halla presente en la mayoría de las especies.

La enfermedad podría ser una desgraciada consecuencia del proceso evolutivo. El aumento del número de letras del código del gen parece facilitar el desarrollo del sistema nervioso.

Las letras repetidas del código van aumentando con el paso de las generaciones. Cuando un individuo acumula cierto número de repeticiones surgen los movimientos incontrolados propios de la enfermedad.





URANTE 15 AÑOS, LAS ASEGURADORAS BRITÁNICAS han estado de acuerdo en no usar la información sobre los genes de sus futuros clientes a la hora de determinar su idoneidad para la contratación de ciertas pólizas de vida. Esta moratoria contiene una sola excepción. En algunos casos, la compañía aseguradora puede tener en cuenta el hecho de que el contratante sea portador del gen de la enfermedad antes conocida como corea hereditaria crónica y hoy denominada, sin más, enfermedad de Huntington.

Tener la constancia de que la prueba genética es positiva permite a las aseguradoras saber que, mientras no se tome ninguna medida, lo más probable es que la causa de la muerte del solicitante sea la enfermedad de Huntington —una posibilidad cuyo grado de certeza es muy superior al de otros factores que también se suelen considerar, como el hábito de fumar, beber o conducir una motocicleta. Quien herede el gen defectuoso empezará a sufrir cambios de humor y alteraciones de la memoria justo en la flor de la vida, entre los 30 y los 50 años, si bien dichos cambios pueden aparecer más tarde. Más adelante, los síntomas empeorarán y serán más numerosos, con espasmos y movimientos incontrolados, acompañados de una forma de andar inestable antaño llamada «baile de san Vito». Poco a poco, el cuerpo irá perdiendo todas sus funciones, los movimientos se volverán más lentos hasta llegar a la inmovilidad absoluta y la persona acabará sucumbiendo.

Desde hace años se sabe que una aberración en el gen de la huntingtina es la causante de la enfermedad. Todos los humanos somos portadores de la huntingtina por su importancia para el desarrollo del sistema nervioso antes de nacer. Pero su gen muestra sutiles diferencias entre los individuos, diferencias que explican por qué unas personas enferman y otras no.

Una región del gen contiene un triplete de nucleótidos (las letras del código del ADN, en concreto C-A-G) que se repite muchas veces, uno a continuación de otro. En las personas sanas, el número de repeticiones oscila entre 8 y 35. Si es mayor, el individuo acabará padeciendo la enfermedad, cuyo nombre rememora a George Huntington (1850-1916), el médico que la describió por primera vez. Basta para ello con una sola copia defectuosa del gen (de las dos que heredamos, una de cada progenitor), y los descendientes del afectado tienen una alta probabilidad (un 50 por ciento) de ser portadores del gen. Fruto de ese patrón hereditario, en Europa y América uno de cada 10.000 individuos está afectado.

También sabemos que los síntomas de la enfermedad se deben a la muerte de las neuronas del cuerpo estriado y de la corteza, regiones del cerebro que controlan los movimientos corporales y las funciones cognitivas superiores. Por consiguiente, el grueso de la investigación sobre la enfermedad se centra en averiguar cómo las versiones del gen dotadas de un gran número de repeticiones provocan ese tipo de lesiones y en desarrollar fármacos que detengan el avance implacable de los síntomas.

Nuestro laboratorio, junto a muchos otros de varios países, persigue con afán esos objetivos. Hace varios años, en el transcurso de esa investigación, algunos de nosotros nos quedamos fascinados por una cuestión de carácter más general: ¿por qué las versiones dañinas del gen persisten generación tras generación sin ser erradicadas por la selección natural? Nos preguntamos si lo que está operando no será un juego biológico basado en un balance de riesgos calculados. ¿Nos reporta alguna ventaja de supervivencia o reproductiva el poseer un gran número de repeticiones genéticas, sin caer en el exceso? Los enfermos también se hacen esta pregunta; son conscientes de que la respuesta probablemente no les va a curar, pero lo quieren saber.

Investigaciones recientes sobre esta incógnita han dado lugar a fascinantes hallazgos sobre la función del gen en el desarrollo del sistema nervioso, tanto en el ser humano como en otros seres vivos. Resulta que un mayor número de repeticiones CAG parece promover el funcionamiento de las neuronas, siempre y cuando ese incremento no sobrepase el límite que degenera en la enfermedad. En este sentido, es posible que la enfermedad de Huntington no corresponda a un trastorno genético, sino a un desafortunado inconveniente de un proceso evolutivo relacionado con el desarrollo cerebral que ha salido mal. Un cambio genético que en principio nos haría «más listos» parece tener trágicas consecuencias cuando se lleva demasiado lejos. En eso consiste la paradoja de Huntington.

EN EL PRINCIPIO

La labor detectivesca que nos permitió esbozar el papel del gen en la evolución del sistema nervioso nos obligó a mirar atrás más de mil millones de años, hasta la aparición del ancestro común del hombre y de una ameba pluricelular denominada *Dictyostelium discoideum*. Esta primitiva forma de vida surgió a caballo de los períodos Paleoproterozoico y Mesoproterozoico y fue la primera portadora del gen, si bien era una variante ligeramente distinta de la versión humana.

Los descendientes de dicha ameba aún pululan en el suelo y la hojarasca en descomposición de los bosques, donde se nutren de bacterias. En 2009, permitieron a Miguel Andrade Navarro, a la sazón en el Centro Max Delbrück de Medicina Molecular en Berlín, y su grupo realizar búsquedas en complejas bases de datos y descubrir el gen en ellos. Andrade Navarro y sus colaboradores descubrieron que una de las diferencias entre el gen de Huntington (un nombre más informal de la huntingtina) de la ameba y el del ser humano es que carece de tripletes CAG. Aún así, el gen parece desempeñar una función crucial en una de las etapas del ciclo vital del protozoo, pues permite que varios individuos unicelulares se unan para formar un ente pluricelular llamado pseudoplasmodio.

Cuando la comida escasea o las condiciones ambientales se vuelven adversas, ese conglomerado de amebas se las arregla mejor que una ameba solitaria. En 2011, Michael Myre y James Gusella, del Hospital General de Massachusetts, publicaron que el gen regula una serie de procesos celulares vitales, entre ellos la transición de *Dictyostelium* al estado pluricelular. Las amebas que carecen del gen de Huntington se mueven con dificultad y no son capaces de agregarse normalmente con otras. Parece, por tanto, que es fundamental para la asociación de los individuos con vistas a sobrevivir.

De hecho, el gen ejerce multitud de funciones. Un equipo de la Universidad Johns Hopkins ha descubierto que controla en qué momento se reproducen las amebas y regula su respuesta ante estímulos de su entorno que les impulsan a desplazarse hacia la comida. En nuestro laboratorio descubrimos que la versión del gen de *Dictyostelium* protege a las células de mamífero de los estímulos que desencadenan la muerte celular.

Las amebas son anteriores a la bifurcación del árbol de la vida que tuvo lugar hace más de 550 millones de años y de la que brotaron dos ramas: los protóstomos, que abarcan los insectos, los crustáceos y los moluscos, y los deuteróstomos, que comprenden a todos los vertebrados: peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, y entre estos últimos a los primates, entre ellos, al ser humano moderno. Solo los segundos siguieron acumulando tripletes CAG en la región del gen donde radica la mutación responsable de la enfermedad humana.

Tal y como descubrimos en 2008, el gen de Huntington empieza a adquirir tripletes CAG en una categoría básica de los deuteróstomos, la de los equinodermos (estrellas y erizos de mar, entre otros). Trabajando en la Universidad de Milán con un grupo especializado en la aplicación de técnicas informáticas a la biología, desciframos la secuencia del gen del erizo *Strongylocentrotus purpuratus* y hallamos dos tripletes CAG en su región inicial.

La secuencia de ADN de este animal marino aún difiere de la del gen humano. Y pese a estar dotado de un sistema nervioso primitivo, su gen radica principalmente en otros tejidos. Esta ausencia parece indicar que en las primeras etapas de la evolución, el gen y sus dos tripletes CAG no cumplían una función importante en el sistema nervioso. La investigación acerca de los tripletes en los protóstomos se halla en pañales pero ya está claro que no abundan (por ejemplo, las abejas poseen un único CAG). En la mayoría de los casos, el gen de Huntington de estos filos zoológicos no presenta ningún CAG.

A finales de la década pasada, nuestro laboratorio analizó las secuencias de ADN de los genes de Huntington de otros deuteróstomos; la más sorprendente de todas fue la del anfioxo o pez lanceta (*Branchiostoma lanceolatum*), perteneciente a la familia de los cefalocordados (obtenida en colaboración con el grupo de Mario Pestarino en la Universidad de Génova). La biología de este pequeño animal, de aspecto similar a un pez pero no afín a él, refleja un avance fundamental en la evolución del sistema nervioso: la adquisición de una estructura neural polarizada que se extiende desde la parte anterior a la parte posterior del animal. En el anfioxo, el extremo frontal de esta médula espinal aparece ligeramente diferenciado y forma un saco, o vesícula, en lo que semeja ser el precursor de un cerebro primitivo.

La secuencia mostraba que, como en los erizos de mar, hay dos tripletes CAG juntos. Pero en su caso la secuencia de letras genéticas alrededor de ese par de tripletes era parecida a la de los vertebrados, seres humanos incluidos, y la proteína codificada por el gen se hallaba confinada básicamente en el tejido nervioso, lo que nos llevó a especular con que esa diferencia pudo haber ayudado a la formación del cerebro primitivo, con su estructura anteroposterior.

Cuando posteriormente se analizaron genomas de vertebrados, se descubrió que los tripletes CAG empiezan a alargarse notablemente en los animales dotados de un sistema nervioso complejo, hasta alcanzar su máxima extensión en el ser humano. Se llega a tal conclusión observando especies cada vez más alejadas de nosotros, como la vaca (15 tripletes CAG), el cerdo (18), el perro

CUADERNO DE LABORATORIO

Herencia evolutiva

Un experimento permite observar en cámara rápida millones de años de evolución

Gracias a experimentos recientes, hemos aprendido que, en el gen de Huntington, las repeticiones CAG parecen haber influido en la evolución del sistema nervioso de los vertebrados y que un mayor número de tripletes propicia un desarrollo más elaborado durante las primeras etapas de la vida.

En nuestros estudios, observamos la influencia del gen sobre ciertas estructuras denominadas rosetas neurales, que surgen cuando se cultivan células de embrión en una placa de Petri. Recreamos el proceso con células madre extraídas de embriones de ratón en sus primeras fases de desarrollo. Estas células embrionarias tienen la facultad de diferenciarse en otros tipos celulares. Si se las trata con moléculas capaces de guiar el desarrollo del sistema nervioso se convierten en células neuroepiteliales, que aparecen dispuestas en torno a una cavidad central, en una forma que recuerda a una flor: las rosetas neurales. Estas rosetas imitan el desarrollo del tubo neural en el embrión, estructura a partir de la cual se forma el sistema nervioso central.

En primer lugar, demostramos que el gen de Huntington es importante para las rosetas. Descubrimos que permite a las células de las rosetas adherirse unas a otras. Las células madre carentes del gen sano no forman las estructuras con forma de flor. De hecho, sin él, una enzima corta la proteína de adhesión localizada en la membrana celular, impidiendo así que las células se adhieran. Si se restablece el gen de Huntington, se empiezan a formar las rosetas.

A continuación, nos preguntamos qué sucedería si extrajésemos el gen original de la célula madre de ratón y lo sustituyéramos por el gen de otro organismo como, por ejemplo, el de la ameba (carente de tripletes CAG), el del anfioxo (dos tripletes), el de un pez (cuatro) o el humano (15). Las diferencias en el desarrollo de la roseta nos aclararían si el aumento del número de repeticiones CAG podría incrementar la capacidad del gen de Huntington para ayudar a la formación del sistema nervioso en estas especies.

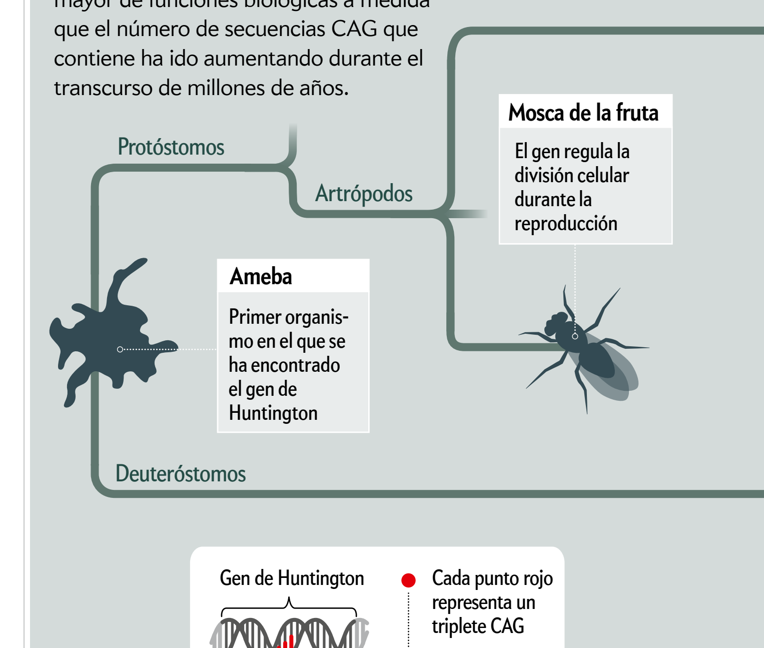
Los genes de las especies menos complejas, como la ameba, no dieron lugar a rosetas. La primera estructura reconocible, si bien incompleta, surgió tras la inserción del gen del anfioxo. En general, los genes con más tripletes CAG dieron lugar a rosetas mejor formadas y más grandes, con una gran cavidad central. El gen de Huntington procedente del pez propició la formación de rosetas preciosas, estructuras más grandes compuestas por muchas más células que las inducidas por el gen del anfioxo. El gen humano —el de mayor número de repeticiones— logró los mejores resultados, con las rosetas más grandes y mejor estructuradas.

Analizados en conjunto, estos resultados nos ofrecen un resumen de lo que pudo ocurrir a lo largo de millones de años de evolución.

UN ÁRBOL DE LA VIDA

Biografía de un gen

¿Qué debemos a la humilde ameba? Uno de los artículos de segunda mano que se han ido transmitiendo a lo largo de eones de evolución es el gen de Huntington, el mismo que, en su forma aberrante, es el responsable de la enfermedad homónima en el ser humano. El gen no mutado parece contribuir al desarrollo durante las primeras etapas de la vida y a la formación de los sistemas nerviosos complejos. Su historia, trazada en un árbol de la vida, refleja un repertorio cada vez mayor de funciones biológicas a medida que el número de secuencias CAG que contiene ha ido aumentando durante el transcurso de millones de años.



El gen de Huntington carece de secuencias de tripletes CAG

(10), el ratón (siete) y la zarigüeya (seis). Muchos animales, entre ellos los primates, poseen segmentos de CAG cuya longitud difiere en los individuos de la misma especie.

Los vertebrados constituyen un capítulo nuevo en la evolución del sistema nervioso. El cerebro surge a partir de una estructura hueca denominada tubo neural que aparece en el embrión joven y, posteriormente, crece hasta conformar el órgano cerebral. En 1997, el grupo encabezado por Marcy MacDonald, del Hospital General de Massachusetts, descubrió que el gen de Huntington interviene en la formación del tubo neural y, en 2012, nuestro equipo confirmó y amplió su hallazgo al demostrar que ese gen contribuye al desarrollo de una estructura semejante a la del tubo neural en células cultivadas en placas de Petri.

TRIPLETES HUMANOS

Mientras tanto, otras líneas de investigación comenzaron a bosquejar otra función de los tripletes CAG: mejorar la mente. Estos descubrimientos surgieron, en parte, a raíz de los trabajos iniciados en los años setenta con el objetivo de hallar el gen. Por fin, en 1993, la genetista Nancy Wexler y otros 57 investigadores, todos integrantes del Grupo Colaborativo de Investigación sobre la Enfermedad de Huntington, localizaron y secuenciaron el gen humano, radicado en el cromosoma 4, allanando así el camino para el descubrimiento de que, en las personas afectadas por la enfermedad, el número de tripletes CAG es igual a 36 o más.

Un año después, David C. Rubinsztein, un genetista que en la actualidad trabaja en la Universidad de Cambridge, publicó un artículo en el que sugería que la región CAG del gen de Huntington normal tiene tendencia a crecer a medida que es transmitido a la descendencia. También en 1994, Max Perutz, premio nóbel de dicha universidad, descubrió que la glutamina —el aminoácido que es codificado por los nucleótidos CAG— facilita la unión a otras proteínas. Sin embargo, tras estos resultados tuvo lugar un largo parón en la investigación sobre las funciones normales de las repeticiones CAG. En esa época, los tripletes CAG y otras secuencias duplicadas se consideraban como «desperdicios» genéticos, carentes básicamente de finalidad.

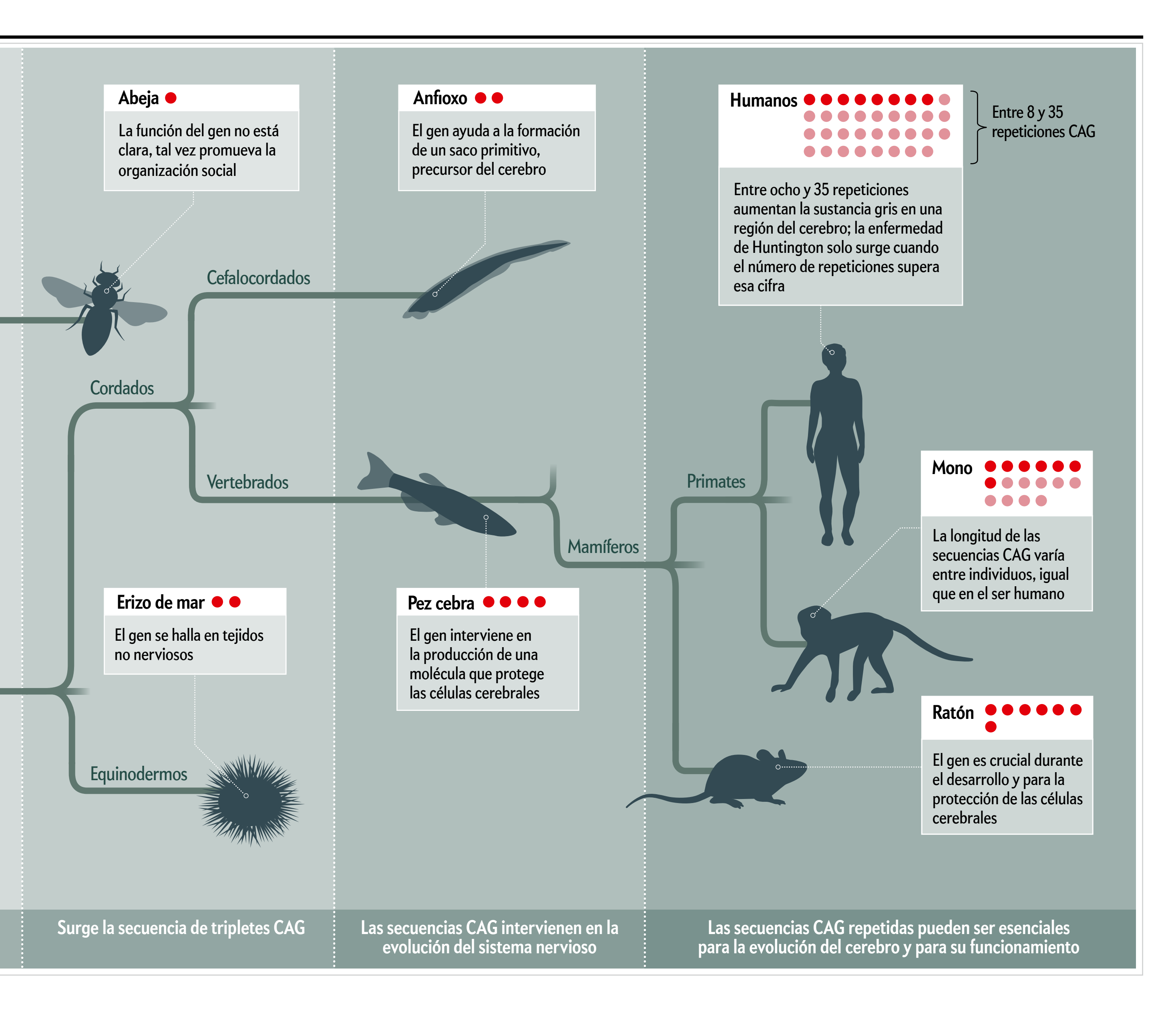
En 2008, John W. Fondon III, hoy en la Universidad de Texas en Arlington, y David King, de la Universidad Carbondale del Sur de Illinois, consiguieron renovar el interés por esta cuestión al plantear que los tripletes podrían intervenir en el desarrollo y la evolución del sistema nervioso, y que la expansión de los tripletes CAG en las neuronas podría mejorar la función cognitiva y la capacidad de interacción sexual y social de otro tipo.

Desde entonces se han acumulado pruebas experimentales que apoyan tales conjeturas. Según un estudio llevado a cabo por el equipo de Michael Hayden en la Universidad de la Columbia Británica en Vancouver, uno de cada 17 individuos es portador de un «alelo intermediario», un gen de Huntington sano con un número de repeticiones CAG que oscila entre 27 y 35, una cifra elevada pero inocua. Las personas sanas con un elevado número de tripletes CAG tienden a tener más sustancia gris (neuronas) en el globo pálido, una región del cerebro que dirige la planificación y el control de los movimientos y que interviene en los procesos cognitivos de nivel superior. En estudios con células del cerebro cultivadas en placas de Petri, nuestro laboratorio también ha demostrado que más tripletes dan lugar a estructuras más complejas, similares a un sistema nervioso (*véase el recuadro* «Herencia evolutiva»).

Hasta los portadores del gen que están predestinados a padecer la enfermedad hacen gala de altos niveles de cognición. En 2012, Carsten Saft y Christian Beste, por aquel entonces en la Universidad del Ruhr en Bochum, publicaron que los portadores de variantes génicas morbosas que aún no habían desarrollado los síntomas obtenían mejores puntuaciones en las pruebas de agudeza visual y de otros tipos de percepción que los portadores de variantes normales.

UN AYUDANTE DEL CEREBRO

Las nuevas investigaciones sobre el gen de Huntington también han ahondado en las tareas específicas que desempeña el gen en el cerebro. En nuestros experimentos con células cerebrales cultivadas en placas de Petri, descubrimos que la forma sana del gen da lugar a neuronas más robustas y más resistentes al estrés. Por el contrario, otros han descubierto que la desactivación del gen en el cerebro del ratón causa la muerte de las neuronas y la aparición de síntomas neurológicos similares a los observados en ratones que portan una versión dañina del gen de Huntington. También hemos demostrado que el gen estimula la producción del factor neurotrófico cerebral (BDNF, por sus siglas en inglés), una proteína que promueve la formación de los circuitos cerebrales y la transmisión de las señales nerviosas.



AMANDA MONTAÑEZ

Quizás el aspecto más importante sea que el gen de Huntington se halla activo sobre todo durante las primeras etapas del desarrollo embrionario. Sin él, sencillamente no habríamos nacido. Comienza a operar durante la gastrulación, la etapa embrionaria a partir de la cual se generan los tejidos básicos del cuerpo. Después regula la formación de nuevas neuronas y ayuda a que se conecten entre sí.

A pesar de los progresos, la paradoja de Huntington persiste. La adquisición de un segmento CAG que se va ampliando sin cesar tal vez sea el mayor logro evolutivo del gen de Huntington, pero esa tendencia a multiplicarse lleva aparejado el terrible riesgo de padecer una enfermedad devastadora. Los enigmas que rodean a los segmentos de ADN que se repiten en su seno tendrán ocupados a los neurocientíficos durante los próximos años. Necesitamos saber por qué la longitud de los tripletes CAG del gen varía tanto. ¿Qué cambios ocurren en el cerebro cuando el número de tripletes se aproxima al umbral que dará lugar al diagnóstico de la enfermedad de Huntington? ¿Por qué el gen se vuelve de repente dañino a partir de las 36 repeticiones? Saber que el gen de Huntington es una bendición y a la par una maldición puede paliar el estigma causado por la enfermedad, porque nos permitirá considerarla no un defecto genético sino una consecuencia de un proceso biológico que, en definitiva, nos convirtió en lo que somos.

PARA SABER MÁS

Molecular mechanisms and potential therapeutical targets in Huntington's disease. Chiara Zuccato y col. en *Physiological Reviews*, vol. 90, n.º 3, págs. 905-981, 1 de julio de 2010.
An evolutionary recent neuroepithelial cell adhesion function of huntingtin implicates ADAM10-Ncadherin. Valentina Lo Sardo y col. en *Nature Neuroscience*, vol. 15, págs. 713-721, mayo de 2012.

EN NUESTRO ARCHIVO

Enfermedad de Huntington. Mecanismos responsables. M. A. Chinchetru en *IyC*, agosto de 2000.
Enfermedad de Huntington. Elena Cattaneo, Dorotea Rigamonti y Chiara Zuccato en *IyC*, febrero de 2003.
Enfermedad de Huntington: ¿por qué mueren las neuronas? Sandrine Humbert en *MyC* n.º 45, 2010.

por Esther Menéndez Gutiérrez, Pedro Francisco Mateos González y Raúl Rivas González

Si eres investigador en el campo de las ciencias de la vida y la naturaleza, y tienes buenas fotografías que ilustren algún fenómeno de interés, te invitamos a participar en esta sección. Más información en **www.investigacionyciencia.es/decerca**

Nódulos fijadores de nitrógeno

Las técnicas histológicas revelan cómo se forman estas estructuras simbióticas entre raíces y bacterias

El nitrógeno es un elemento esencial para la vida, ya que forma parte de moléculas biológicas fundamentales. Aunque es muy abundante en la atmósfera, se halla en forma de gas y no puede ser asimilado por las plantas.

Afortunadamente, existe un grupo de microorganismos llamados diazotrofos que tienen la capacidad de transformar el nitrógeno inerte de la atmósfera en formas reactivas mediante un proceso conocido como fijación biológica de nitrógeno. Dentro de ellos, cobran especial relevancia las bacterias del grupo de los Rhizobia, que establecen relaciones simbióticas con plantas leguminosas, lo que las hace independientes de cualquier otra fuente externa de nitrógeno.

La simbiosis rizobio-leguminosa tiene como resultado la formación de unas estructuras especializadas en las raíces denominadas nódulos, fácilmente observables. Tanto la planta como la bacteria han desarrollado un complejo mecanismo de intercambio de señales moleculares que les permiten reconocerse mutuamente y desencadenar el proceso de infección. El primer cambio visible es la deformación de los pelos radicales y su posterior curvatura. A continuación, la bacteria penetra a través de la pared celular hacia el interior de la raíz y crea el denominado canal de infección, que culmina en la región subyacente al meristemo nodular (zona de crecimiento del nódulo). Después, las bacterias se liberan del canal, se diferencian en bacteroides (células bacterianas especializadas en proporcionar nitrógeno a la planta) y dan lugar a un nuevo orgánulo denominado simbiosoma, en el que ocurre la fijación de nitrógeno. Cada nódulo radicular contiene millones de simbiosomas.

La fijación de nitrógeno enriquece, preserva y restaura la fertilidad de los suelos, por lo que permite reducir la aplicación de abonos químicos. En nuestro laboratorio trabajamos para optimizar el rendimiento de la relación mutualista mediante la determinación de los genotipos específicos de microorganismos fijadores, el estudio del mecanismo de infección y el análisis de la interacción entre la planta y la bacteria.

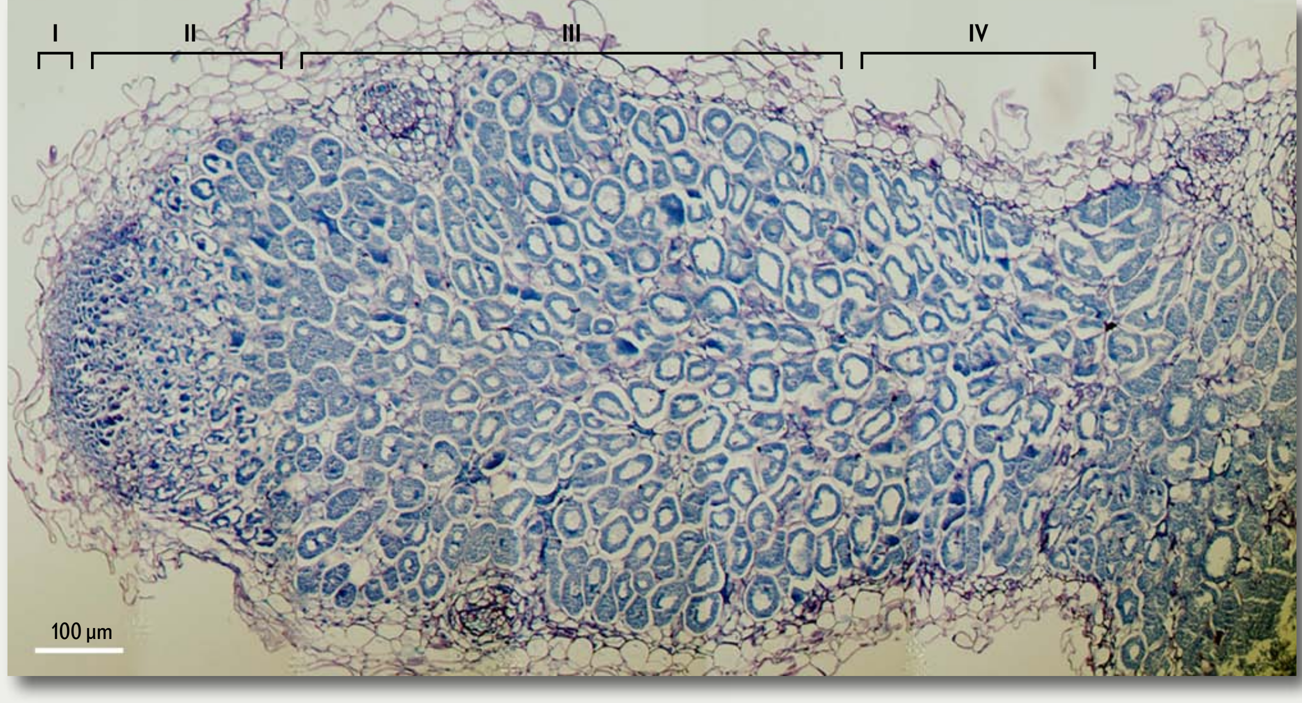
—Esther Menéndez Gutiérrez
—Pedro Francisco Mateos González
—Raúl Rivas González
Dpto. de microbiología y genética
Universidad de Salamanca



ESTE PELO RADICAL de leguminosa se curva en el extremo al ser infectado por una bacteria (*azul*), cuya posición puede observarse gracias al empleo de la técnica del gen reportero. (Imagen obtenida mediante microscopía óptica.)

LAS PLANTAS LEGUMINOSAS, como el carretón (*Medicago truncatula*), presentan un mayor porte cuando establecen simbiosis con rizobios fijadores de nitrógeno (*izquierda*) que cuando no lo hacen (*derecha*).

LOS NÓDULOS fijadores de nitrógeno de las raíces se aprecian al observarlas bajo la lupa estereoscópica (*arriba*). Al realizar un corte histológico longitudinal de un nódulo y examinarlo mediante microscopía óptica, se distinguen las células repletas de simbiosomas (*abajo, flechas*), así como cuatro zonas diferenciadas de desarrollo: el meristemo nodular (I), la zona de infección (II), la zona de fijación (III) y la zona de senescencia (IV).



TODAS LAS IMÁGENES DE ESTE ARTÍCULO: CORTESÍA DE LOS AUTORES

por Aitor Anduaga Egaña



Aitor Anduaga Egaña es profesor-investigador Ikerbasque en el Museo Vasco de Historia de la Medicina y de la Ciencia de la Universidad del País Vasco.

Realismo de origen sociocultural en la ciencia

Un episodio de la historia reciente muestra hasta qué punto los intereses comerciales e industriales han modelado las concepciones científicas

La historia del descubrimiento de la estructura en capas de la Tierra nos enseña varias lecciones sobre las distintas maneras en que pueden fraguarse las nociones científicas. Durante la primera mitad del siglo pasado, los físicos elucidaron la disposición en estratos de la atmósfera superior, o ionosfera, así como la de la corteza terrestre. Ambos relatos se parecen en numerosos aspectos. En uno y otro participaron científicos industriales y académicos; en ambos se emplearon ondas generadas artificialmente como medio de exploración (ondas de radio para la ionosfera y ondas sísmicas para la corteza); y en los dos mediaron fuertes intereses comerciales (procedentes de las industrias de la radiodifusión y del petróleo, respectivamente). Sin embargo, la similitud más importante tal vez sea epistemológica; en concreto, en lo que respecta al realismo de las concepciones físicas.

En 1924, cuatro físicos (Edward V. Appleton y Miles Barnett en el Reino Unido, y Merle A. Tuve y Gregory Breit en EE.UU.) reivindicaron el descubrimiento de la capa de Heaviside-Kennelly en la alta atmósfera. Ponían así fin a un gran enigma que databa de 1901: el primer ensayo exitoso de radiocomunicación transatlántica, logrado aquel año por Guglielmo Marconi. ¿Cómo podían las ondas de radio acomodarse a la curvatura de la Tierra y recorrer distancias tan vastas?

Poco después del experimento de Marconi, Oliver Heaviside y Arthur Kennelly habían sugerido que las ondas de radio rebotaban entre la Tierra y una hipotética capa conductora situada en la atmósfera superior, la cual sería a su vez reflectora. Mientras Appleton y Barnett ideaban una técnica que cambiaba la frecuencia de las señales de radio para producir interferencias, Tuve y Breit inventaban el radiosondeo, consistente en enviar breves pulsos de radio hacia el cielo y registrar las señales de vuelta. El mismo método alumbró pronto varios hallazgos más; entre 1925 y 1930 se descubrieron la capa inferior (D), la superior (F) y las subcapas F1 y F2 de la ionosfera.



GUGLIELMO MARCONI, 1902.

WIKIMEDIA COMMONS/DOMINIO PÚBLICO

En 1921, y de manera paralela, el geofísico británico Harold Jeffreys proponía un modelo muy idealizado de la corteza terrestre, según el cual esta se componía de dos capas, una de granito y otra de basalto. Su idea se fundaba en el análisis de distintos sismogramas registrados tras varias explosiones terrestres, en los que observó que las curvas de los tiempos de viaje se correspondían con las de dos ondas que se propagaban con velocidad uniforme en dos medios homogéneos.

A partir de 1926, los físicos aplicaron dicha técnica al análisis de datos de terremotos cercanos. La corteza comenzó a ser representada por modelos de capas sencillos, donde se suponía que la Tierra era isótropa, esférica, homogénea y elástica. En los años treinta, sin embargo, los geofísicos industriales desarrollaron métodos de refracción y reflexión de ondas sísmicas para explorar las complejas estructuras petrolíferas a pequeñas profundidades. Al igual que en el radiosondeo, se generaban ondas sísmicas mediante explosiones artificiales y se registraban las señales que regresaban. Gracias a estas técnicas de prospección, las opiniones en contra de los modelos más simples y a favor de interpretaciones más realistas, surgidas en la industria petrolífera, se extendieron al mundo académico.

Aunque sus objetivos y medios eran muy diferentes, los físicos atmosféricos y los sismólogos mostraron una disposición común: ambos adoptaron actitudes realistas acerca de determinadas entidades teóricas, como las capas y las discontinuidades. Es más, su realismo hacía referencia a conceptos, no a teorías. Y no procedía de una doctrina filosófica, como podría ser el llamado «realismo científico», sino que se trataba de algo más simple: una actitud pragmática.

Tras este hecho se esconde un asunto de gran calado: la influencia de la tecnología y la industria en la ciencia. ¿Cómo intervienen estos factores en el desarrollo científico? ¿Son simplemente entornos que facilitan el saber hacer y proporcionan herramientas para la ciencia? ¿O afectan realmente a los conceptos y a los valores propios de la ciencia? Y, de ser así, ¿cómo y en qué medida?

Realismo operacional

Los filósofos de la ciencia modernos han relacionado este tipo de realismo con el denominado «realismo operacional». En esta línea, Ian Hacking, de la Universidad

de Toronto, y Nancy Cartwright, de la de California en San Diego, sostienen que los científicos se ven justificados a creer en la existencia de entidades teóricas solo cuando son capaces de usarlas para producir efectos. Según estos investigadores, únicamente a través de la manipulación y el experimento puede decirse que existe una entidad como el electrón. Lo que lleva a los físicos a convencerse de que están «viendo» electrones no es que la teoría se adecúe empíricamente a los hechos, sino que puedan manipularlos de forma directa para lograr los resultados que buscan. Es de sobra conocido el lema de Hacking: *if you can spray them, then they're real* («si puedes rociarlos con un espray, entonces son reales»). Una entidad se considera real si podemos manipularla.

Hace poco, la historia de la ciencia ha dado una nueva vuelta de tuerca al realismo operacional. El historiador Chen-Pang Yeang, también de la Universidad de Toronto, ha ampliado el significado de *operación*, que pasa de la intervención y la manipulación a la «mediación activa en general». Para este autor, los físicos creyeron que las capas ionosféricas eran reales, no porque pudiesen manipular o controlar la ionosfera —de hecho, no podían—, sino porque encontraron un modo de sondearla y explorarla. Así, la técnica de radiosondeo les habría permitido manipular la forma de las ondas de radio y observar sus efectos. Ese control sobre las ondas habría hecho que la ionosfera pareciese más «real».

Ahora bien, aunque la manipulación de las ondas pudo haber contribuido a consolidar la noción de ionosfera como una entidad real, las actitudes realistas aparecieron antes de los experimentos con ondas que condujeron al «descubrimiento» de las capas de la atmósfera superior. De hecho, ya antes de 1924, los ingenieros de radio de la Compañía Marconi creían firmemente en la existencia de capas que reflejaban ondas en la atmósfera superior. Otro tanto sucedió con la corteza terrestre: los impulsos realistas surgieron antes de los experimentos con ondas que, en los años cincuenta, llevaron al abandono definitivo de los modelos idealizados de la corteza. Pero, si la manipulación y la intervención no fueron la causa principal, ¿qué motivó a los físicos a adoptar posturas realistas?

Realismo sociocultural

Todo indica que nos encontramos ante un tipo de realismo que hasta ahora ha pasado inadvertido en la historiografía y la filosofía de la ciencia: uno de origen social y cultural. Dicho realismo versa sobre entidades, no sobre teorías, y responde a intereses muy concretos: comerciales e ingenieriles. No es exclusivamente operacional ni estrictamente instrumental; más bien, tiene raíces socioculturales.

Veamos cómo se dio el fenómeno en el caso de la ionosfera. Los ingenieros de radio de la Compañía Marconi fueron los primeros en introducir la modelización de la atmósfera superior con fines comerciales en 1920. Modelizar la atmósfera constituía un aspecto esencial, cuya potencialidad quedó patente muy pronto en el éxito de las radiocomunicaciones en el Imperio británico. Los ingenieros concibieron una analogía óptica, según la cual la refracción atmosférica de las ondas de radio se trataba como una pura reflexión, en la que el trazado de los rayos entre el transmisor y el receptor formaba un triángulo isósceles. En sus investigaciones, dieron por sentado que existía una capa reflectora (un «espejo») en la atmósfera superior. Para los ingenieros, el logro comercial se encontraba directamente relacionado con la existencia de las capas imaginadas en sus preparativos, ya que la mejor explicación, o la causa más probable, de que sus técnicas resultasen exitosas era que dicha capa reflectora realmente existiese.

Tales técnicas y analogías no solo permitieron el diseño de antenas direccionales y la radiocomunicación de larga distancia, sino que, más tarde, fueron emuladas en numerosos aspectos en los experimentos de radiosondeo efectuados por los físicos. Cuando Appleton anunció sus descubrimientos, sostuvo que las capas mostraban una estratificación discreta, no tanto un gradiente continuo de electrones.

Tal vez el ejemplo más claro del modo en que Appleton se dejó influir por un entorno no académico se produjese en 1937. Aquel año, el investigador y sus colaboradores propusieron un modelo en el que la densidad de electrones quedaba descrita por dos parábolas superpuestas, las capas E y F. Aunque algunos físicos habían aportado pruebas firmes de la existencia de distribuciones de ionización continuas entre ambas, Appleton se adhirió al modelo parabólico. Las gráficas que empleó en varios cursos que impartió en Londres entre 1937 y 1939 mostraban perfiles electrónicos con máximos únicos y bien definidos. Y, en aquella época, los modelos de capas no eran un simple pasatiempo académico. Durante la Segunda Guerra Mundial, varios servicios de predicción ionosférica, como los militares o los de la Compañía Marconi, intentaban determinar qué frecuencias podían usarse en las radiocomunicaciones a partir de los modelos basados en perfiles de capas. Y, en la medida en que estos sirvieron a los intereses militares, los físicos se inclinaron a abrazar una imagen de la ionosfera tan útil y realista como fuera posible.

Dicho de otra manera: el éxito comercial dependía de la capacidad para efectuar predicciones. Vaticinar la frecuencia máxima utilizable en las radiocomunicaciones o la localización de pozos petrolíferos resultaba clave para el éxito industrial. Pero dichas predicciones estaban ligadas al uso de imágenes útiles de las regiones más inescrutables de la Tierra. Por tanto, el énfasis realista tuvo mucho que ver con la necesidad de proporcionar modelos de la ionosfera y de la corteza terrestre que permitiesen realizar predicciones y alcanzar logros comerciales.

Sin duda, la física y las matemáticas han sido consideradas siempre el arquetipo de las ciencias; sus conceptos y métodos simbolizan el conocimiento «puro». Ahora bien, ese conocimiento ¿nunca se ha visto afectado o influenciado por factores «externos»? ¿Nunca fue «modelado» por las demandas industriales, comerciales o por la presión social? El relato esbozado aquí parece demostrar que sí.

PARA SABER MÁS

Representar e intervenir. Ian Hacking. Paidós Ibérica, México, 1998.
Wireless and empire: Geopolitics, radio industry and ionosphere in the British empire, 1918-1939. Aitor Anduaga. Oxford University Press, 2009.
Probing the sky with radio waves: From wireless technology to the development of atmospheric science. Chen-Pang Yeang. Chicago University Press, 2013.
Geophysics, realism and industry: How commercial interests shaped geophysical conceptions, 1900-1960. Aitor Anduaga. Oxford University Press, 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

La atmósfera y las ondas de radio. En «La atmósfera», colección *Temas de IyC*, n.º 12, abril de 1998.
Realismo científico: ¿Sigue el debate? Antonio Diéguez en *IyC*, marzo de 2012.

por Francesc Palau



Francesc Palau dirige el Servicio de Medicina Genética y el Instituto Pediátrico de Enfermedades Raras del Hospital San Juan de Dios en Barcelona. Es investigador del Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Raras y profesor de investigación del CSIC.

La relevancia de las enfermedades raras

Su estudio no solo ayuda a hacer frente a un importante problema de salud pública, sino también a conocer mejor las enfermedades comunes

La enfermedad es consustancial a nuestra naturaleza, y los humanos hemos desarrollado conocimientos y técnicas para su tratamiento y prevención. La mayoría de la población reconoce las dolencias comunes, pero sabe poco de las denominadas enfermedades raras o minoritarias debido a su escasa prevalencia (las sufren menos de 5 personas de cada 10.000). Gran parte de estos trastornos se describieron a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX y en el siglo XX, pero hoy todavía se siguen descubriendo. La mayoría (alrededor del 80 por ciento) son de índole genética y tienen carácter hereditario. Están causados por mutaciones, bien en el genoma del núcleo celular, o bien en el genoma que hay en las mitocondrias (las «centrales energéticas de la célula»).

Aunque individualmente cada enfermedad rara sea poco frecuente (las hay que son ultrarraras), en su conjunto conforman un grupo muy amplio de trastornos y afecciones que, aun siendo diferentes entre sí, comparten aspectos médicos que hace que constituyan un paradigma de la medicina del siglo XXI. Una visita al portal de información sobre enfermedades raras Orphanet en agosto de 2016 nos muestra 5856 entradas de estas afecciones y 3573 genes relacionados con ellas. Si hacemos lo propio en el portal Herencia Mendeliana en el Hombre (OMIM, por sus siglas en inglés), un compendio de genes humanos y fenotipos de trastornos genéticos, encontramos 8300 fenotipos clínicos en los que se sospecha una herencia mendeliana, hallándose un gen asociado en 4889 casos.

Estas patologías presentan una enorme complejidad clínica, biológica y genética. Más allá de que puedan heredarse, cuentan con otras características singulares. Suelen ser crónicas e incapacitantes y ocurren con mayor frecuencia en niños y adolescentes, a diferencia de las enfermedades comunes, que suelen aparecer en la edad adulta. Además, se manifiestan a menudo como síndromes, es decir, afectan a varios órganos o sistemas; en cambio, la mayoría de las enfermedades comunes suelen producirse en un único sistema orgánico, como es el caso de la cardiopatía isquémica, que afecta al corazón, o la esquizofrenia, un trastorno mental.

Una característica de interés de las enfermedades minoritarias es que, sea cual sea su rareza, operan bajo los mismos principios biológicos que intervienen en las comunes. La mayoría de ellas son el resultado de la disfunción de una sola vía celular o metabólica, debido a la presencia de un gen mutante. Comprender el impacto de un defecto génico primario puede ayudar a conocer las rutas biológicas implicadas en las enfermedades comunes.



En los últimos años se han establecido las relaciones entre enfermedades raras y comunes que comparten un fenotipo similar y variantes de un mismo gen. Podemos hablar de un espectro continuo entre la enfermedad rara, en la que el gen mutante determina por sí solo la patología, y la enfermedad común, que depende de múltiples factores.

Tomemos como ejemplo el párkinson, un trastorno neurodegenerativo complejo que, en la mayoría de los casos, no es de origen genético. Sin embargo, en alrededor de un 15 por ciento de los pacientes está determinado por un único gen. Tal es el caso de las mutaciones en los genes *Parkin* y *PINK1*, que participan en el control de calidad y en la dinámica de la red de mitocondrias de la célula. El estudio de otras enfermedades raras en las que el gen mutante también afecta a la función mitocondrial, como las variantes de la neuropatía de Charcot-Marie-Tooth, causadas por mutaciones en los genes *MFN2* y *GDAP1*, puede ser muy útil para comprender la etiopatogenia de la enfermedad de Parkinson.

Así pues, las formas raras de enfermar nos hablan de mecanismos fisiopatológicos presentes en enfermedades comunes, y nos abren una puerta para identificar dianas moleculares de interés terapéutico no solo para las propias enfermedades raras, sino también para las comunes.

La atención sanitaria de las personas afectadas por una enfermedad minoritaria requiere un enfoque multidisciplinar e integrador de las necesidades clínicas, psicológicas y sociales de los pacientes y de sus familiares. Dada la baja prevalencia de cada una de estas enfermedades por separado, los sistemas de salud deben abordar este proceso en circuitos dinámicos que reúnan atención primaria, atención especializada y unidades de referencia acreditadas. Debe darse prioridad a cuatro cuestiones básicas: la mejora del diagnóstico; la disponibilidad de centros de referencia nacionales, además de los de proximidad, donde puedan acudir los pacientes; el desarrollo y mejora de los protocolos de atención en la transición de la edad pediátrica a la adulta; y la promoción de la investigación terapéutica.

Las enfermedades raras son complejas y el enfoque global de su tratamiento debe realizarse en el marco de los parámetros de la medicina moderna, lo que requiere actuaciones decididas en el ámbito de la atención médica y social, la investigación científica y la formación de los profesionales sanitarios. IyC

por Pere Castells

Pere Castells, experto en ciencia y cocina, es colaborador del proyecto elBullifoundation.



Fibras

Nutrición y gastronomía se dan la mano

Si damos un paseo por la sección de dietética de cualquier supermercado, podremos leer en muchos de los envases frases publicitarias del tipo «Rico en fibra». ¿A qué sustancia se refieren? ¿Además de «enriquecer» ciertos productos alimentarios, qué otras funciones desempeñan las fibras en la gastronomía actual?

Desde el punto de vista químico, las fibras alimentarias se incluyen dentro de los hidratos de carbono, o glúcidos; compuestos bioquímicos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos se clasifican en azúcares (hidratos de carbono simples), almidones (hidratos de carbono complejos, polisacáridos digeribles) y fibras (hidratos de carbono complejos, polisacáridos poco o nada digeribles), que pueden ser solubles (captan agua, comportamiento de hidrocoloide) o insolubles (no absorben agua), como la celulosa.

En la cocina occidental hace tiempo que se emplean compuestos hidrocoloides a modo de texturizantes. Los de tipo proteico (como la gelatina de origen animal) se utilizan para obtener elaboraciones gelificadas: gelatinas de fruta, *panna cotta*, gominolas y muchas otras; los almidones, para preparar salsas, cremas o purés.

En la gastronomía occidental, los hidrocoloides de tipo fibra soluble, en cambio, no se han usado para modificar la textura de los productos hasta fecha más reciente, a raíz de la revolución culinaria del siglo xxi. Nos referimos a las pectinas ya utilizadas en pastelería y a otros gelificantes como los mucílagos (agar, alginato y carragenatos), la goma gellan, y espesantes como la xantana y otras gomas como las del grupo de los galactomananos (garrofín, tara y guar).

En el año 1998, el restaurante El Bulli utilizó el agar para obtener lo que llamó «gelatina caliente». Hasta ese momento, los productos gelificados se preparaban con gelatina derivada del colágeno, una proteína que solo conserva su estructura gelificada en frío. El agar, en cambio, no es de origen proteico, sino un polisacárido, por lo que su estructura gelificada resiste temperaturas de hasta 85 ºC.

La aplicación del alginato en la creación de la mítica esferificación en 2003 [*véase* «La esferificación», por Pere Castells; Investigación y Ciencia, abril de 2008] constituye otro paso importante en la aplicación de los texturizantes. Desde entonces, el consumo de hidrocoloides aplicados a la cocina se ha visto incrementado de forma exponencial; toneladas de fibras se venden en establecimientos que suministran productos para restauración en todo el mundo.

En cuanto al valor nutricional de las fibras, en estos últimos años se han llevado a cabo infinidad de trabajos sobre los beneficios del consumo de las de tipo soluble (los productos dietéticos que comentábamos al inicio del artículo incluyen fibras de los dos tipos, solubles e insolubles). En una revisión publicada en línea en 2013 en el BMJ, Diane E. Threapleton, de la Universidad de Leeds, y otros investigadores concluyeron que una mayor ingesta de fibra dietética se asocia con un menor riesgo cardiovascular. Ese mismo año, Filipe de Vadder, entonces en la Universidad de Lyon, y sus colaboradores publicaron otro estudio en *European Journal of Neuroscience* que indicaba que un aumento de fibra en la dieta puede prevenir la obesidad por control de la glucosa intestinal.

La OMS ve en las fibras solubles una de las aliadas para combatir la epidemia global de obesidad. Numerosas investigaciones, como las de David Houghton, de la Universidad de Newcastle, señalan el alginato como la fibra clave para tratamientos de pérdida de peso. Respecto a otras fibras, el alginato tiene la ventaja de formar geles en medios ácidos y con abundancia de sales, condiciones en las que se encuentran los alimentos durante la digestión. La ingesta de alginatos provoca un aumento de la viscosidad causado por la formación de gel en el estómago a un *p*H bajo; ello reduce la digestibilidad de los macronutrientes (se absorben menos), lo cual aporta menos masa al organismo, al propio tiempo que aumenta la saciedad (reduce el apetito) y, por tanto, ayuda a perder peso.

Uno de los problemas de la aplicación de estas dietas «saludables» es su mal sabor. La paradoja es que el alginato es el gelificante utilizado para producir la esferificación, una de las técnicas que ha dado elaboraciones más sabrosas en la cocina contemporánea (pensemos en las «aceitunas esféricas», el «caviar de guisantes» o la «esferificación de queso»). Debería de ser posible, pues, diseñar platos que incluyeran alginato y que fueran gustosos.

La propuesta es clara: nutricionistas y cocineros deberían trabajar conjuntamente para conseguir dietas sabrosas y saludables, sobre todo para combatir la obesidad.



TARTAR DE TOMATE sobre zumo de guindillas con una falsa yema de huevo (esferificación de oliva gazpacha).

CORTESÍA DE VÍCTOR QUINTILLÁ, RESTAURANTE LLUERNA



COMPUTACIÓN

LAS DIFICULTADES DE LA CIBERSEGURIDAD

Proteger Internet y los sistemas conectados a la Red plantea complejos problemas

Peter J. Denning y Dorothy E. Denning

Dado el continuo flujo de informaciones que hablan de ciberataques y de las vulnerabilidades que los posibilitan, resulta fácil concluir que el estado de la ciberseguridad es de pura confusión. Los ingenieros de otras estructuras (de puentes, por ejemplo) parecen haber desarrollado métodos gracias a los cuales sus obras se mantienen seguras. ¿Por qué no se ha alcanzado esta relativa estabilidad en el caso de los ordenadores interconectados? Examinando las amenazas a que se enfrentan los ingenieros de sistemas informáticos y comparándolas con aquellas que afrontan quienes diseñan puentes, veremos por qué las primeras son más complejas que las segundas.

LA GRAVEDAD DEL PROBLEMA

La inseguridad digital se ha convertido en una creciente preocupación pública y en un problema prioritario para los Gobiernos. Entre las noticias de años recientes que han copado los titulares están las referidas a la filtración de datos de la Oficina de Gestión del Personal de Estados Unidos, que comprometió los registros confidenciales de 22 millones de empleados federales; a la intrusión que sufrió el proveedor de seguros médicos Anthem, que dejó al descubierto los datos personales de 79 millones de personas; al golpe a la cadena de grandes almacenes Target Corporation, que recolectó información de tarjetas de débito y crédito de 40 millones de personas; o al ataque a Sony Pictures Entertainment, que destruyó datos y programas de arranque en más de 3000 ordenadores, además de divulgar películas antes de su estreno y embarazosos correos electrónicos de los ejecutivos. Los funcionarios públicos manifiestan abiertamente su temor a que se produzcan ciberataques a infraestructuras críticas, como las relativas a la energía, el agua, las comunicaciones y el transporte. Su preocupación está bien fundada. En diciembre de 2015, por ejemplo, un ciberataque contra plantas eléctricas ucranianas dejó sin suministro eléctrico a 80.000 clientes. Se ha demostrado la existencia de numerosas vulnerabilidades de automóviles, aviones y dispositivos médicos, las cuales podrían explotarse con consecuencias fatales.

EN SÍNTESIS

Aunque los datos estadísticos relativos a los ciberataques son hasta cierto punto escasos, parece que la mayoría de las organizaciones los han sufrido. En la última docena de años, se han más que decuplicado los incidentes comunicados a un organismo estadounidense de ciberseguridad. La preocupación está justificada.

Se descubren cada año miles de vulnerabilidades de los sistemas operativos y aplicaciones más conocidos. Comparar la naturaleza de estos sistemas informáticos con la de un puente ayuda a entender por qué son tan propensos a sufrir agresiones y por qué es tan difícil evitarlas.

Con todo, aunque el número de ciberataques haya crecido, no lo ha hecho proporcionalmente al aumento del uso de los sistemas informáticos. La adopción por parte de todos de determinados protocolos de seguridad reduciría en gran medida los ataques exitosos.

Sorprende la escasez de datos fiables acerca de la extensión y las tendencias de los incidentes contra la ciberseguridad. Se publican informes con regularidad, pero sus hallazgos se limitan generalmente a los datos recabados mediante encuestas o a través de la monitorización directa de sus clientes, y rara vez muestran tendencias más allá del trimestre o año fiscales. David Shephard, de la empresa de *software* NetIQ, ha elaborado, a partir de múltiple fuentes, una lista de los 84 hechos y tendencias que «más miedo dan». Encabezando esta lista se encuentra un sondeo que indica que, en el año 2014, el 71 por ciento de las organizaciones fueron víctimas de ciberataques exitosos. Su estadística muestra un aumento de los incidentes cibernéticos detectados, incluido un incremento del 517 por ciento en empresas eléctricas y servicios públicos de 2013 a 2014. El coste medio de los incidentes sufridos por las corporaciones ascendió en 2013 a 3,5 millones de dólares. El Equipo de Preparación ante Emergencias Informáticas de Estados Unidos también ha observado que el número de incidentes cibernéticos comunicados se ha multiplicado por 12, pasando de unos 5500 en 2006 a más de 67.000 en 2014. El Centro de Estudios Internacionales y Estratégicos y McAfee situaron el coste anual del cibercrimen global entre los 375.000 millones de dólares y los 575.000 millones.

El Gobierno estadounidense mantiene una base de datos nacional de todos los fallos de *software* declarados que podrían explotarse en ciberataques; su número muestra un aumento continuo desde 1997 hasta 2006; a partir de ahí, se estabiliza en entre 4000 y 7500 vulnerabilidades por año. Aunque esta nivelación parece una buena noticia, conviene recordar que un solo fallo puede afectar a cientos de millones de usuarios. La mayoría de ellos residen en los principales sistemas operativos y programas, como los de Apple (1147 vulnerabilidades en 2015), Microsoft (1561) y Adobe (1504). Teniendo en cuenta que la cuota de mercado de los sistemas operativos Microsoft Windows y Apple Macintosh supera el 95 por ciento, prácticamente todos los ordenadores personales se hallan expuestos.

Este lamentable estado no se debe a una falta de interés. La seguridad informática lleva preocupando a los operadores y diseñadores de sistemas desde la década de los sesenta. En 1965, la protección de la información se consideraba una de las seis inquietudes fundamentales ligadas a los sistemas operativos, y ha permanecido así durante cincuenta años. Las técnicas de la seguridad reflejan un puñado de conceptos básicos: aislamiento, control de acceso, encriptación, autenticación y monitorización. Sin embargo, muchos ciberataques van dirigidos contra las propias técnicas de seguridad; averiguan contraseñas o aprovechan las debilidades de los protocolos de cifrado y de los programas antivirus.

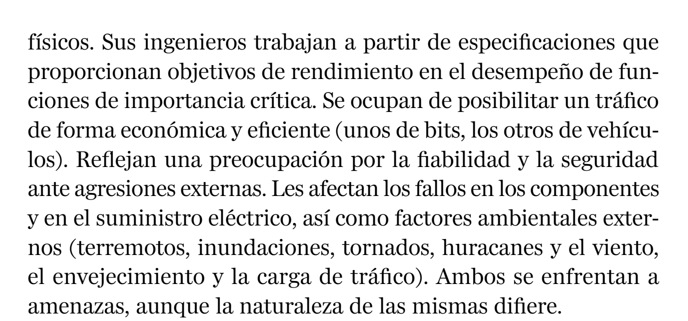
SISTEMAS INFORMÁTICOS Y PUENTES

¿Existe algún otro tipo de infraestructura —un puente, digamos— que se muestre tan vulnerable a los ataques como los sistemas informáticos? El carácter físico de los puentes podría causar la impresión de que sería más fácil dañarlos. Sin embargo, Wikipedia recoge menos de 100 fallos en puentes desde el año 2000, y la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ha notificado que el 11 por ciento de los 607.000 puentes en los Estados Unidos presentan defectos (vulnerabilidades conocidas por las inspecciones). Ambas cifras, tanto en términos absolutos como relativos, son radicalmente inferiores a las de los incidentes y vulnerabilidades cibernéticas. Los puentes están en mucha mejor situación que los ordenadores.

Los sistemas informáticos y los puentes poseen aspectos en común. Son estructuras de ingeniería construidas con componentes físicos. Sus ingenieros trabajan a partir de especificaciones que proporcionan objetivos de rendimiento en el desempeño de funciones de importancia crítica. Se ocupan de posibilitar un tráfico de forma económica y eficiente (unos de bits, los otros de vehículos). Reflejan una preocupación por la fiabilidad y la seguridad ante agresiones externas. Les afectan los fallos en los componentes y en el suministro eléctrico, así como factores ambientales externos (terremotos, inundaciones, tornados, huracanes y el viento, el envejecimiento y la carga de tráfico). Ambos se enfrentan a amenazas, aunque la naturaleza de las mismas difiere.

Peter J. Denning es catedrático emérito de ciencias computacionales y director del Instituto Cebrowski de Innovación en Información, de la Escuela Naval de Posgrado de Monterrey, en California.

Dorothy E. Denning es catedrática emérita de análisis de defensas de la Escuela Naval de Posgrado y miembro del Salón de la Fama de la Ciberseguridad.

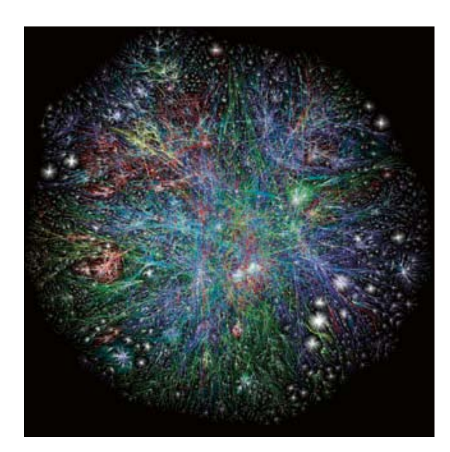
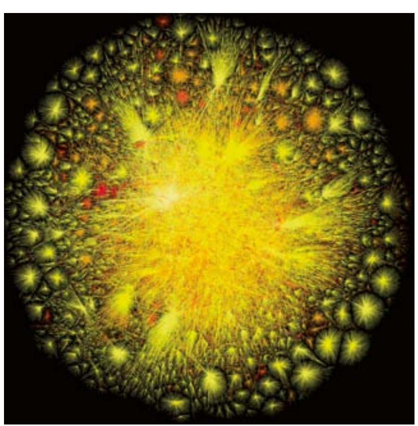
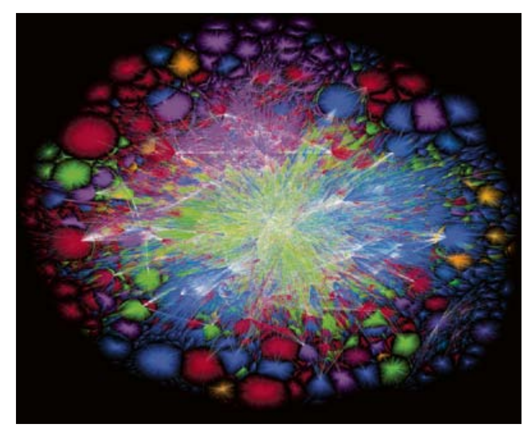


ACCESO RESTRINGIDO

La mayoría de los puentes se encuentran abiertos al público. Aunque algunos obligan a los conductores a pagar un peaje, la mayoría de los vehículos no tiene vedado el paso. Por el contrario, gran parte de los sistemas informáticos están cerrados al público por un motivo evidente: se utilizan para almacenar y procesar información valiosa. Para garantizar que solo tengan acceso los usuarios autorizados, se requiere pasar un proceso de identificación que implica diversos medios de autenticación (la contraseña es uno de ellos). Todos los sistemas informáticos, estén abiertos al público (como los de las bibliotecas) o cerrados, necesitan restringir las acciones de sus usuarios para evitar que, inadvertida o intencionadamente, destruyan archivos del sistema, inserten en los equipos programas maliciosos (*malware*) o interfieran de cualquier otro modo en las operaciones normales y con otros usuarios.

Para que se cumplan estas restricciones, los sistemas informáticos emplean un complejo despliegue de controles de acceso: no solo los mecanismos de identificación del usuario, sino también técnicas de aislamiento impuestas por el equipo físico y el sistema operativo. Estos controles deben garantizar que a los usuarios solo se les permita acceder a los objetos digitales, tales como archivos y registros de bases de datos, para los que estén autorizados, y que solo puedan efectuar operaciones y transacciones para las que se les haya otorgado permiso. Su implementación resulta infinitamente más compleja que la instalación en los puentes de alambre de espino o de cabinas para el cobro del peaje.

Aunque los controles de acceso de los sistemas operativos son muy útiles para salvaguardar los datos de un ordenador, no hacen nada para proteger los datos en tránsito entre equipos interconectados. Casi todo el tráfico a través de la Red se halla expuesto al espionaje y a la corrupción. Proteger estos datos requiere un conjunto completamente distinto de controles de seguridad —en particular, métodos criptográficos para cifrar y autenticar datos— y monitores de tráfico que busquen actividad sospechosa. La seguridad en las redes pone sobre la mesa el espinoso problema de la vigilancia (una preocupación menor en una ubicación pública como un puente, donde cualquiera puede observar el flujo de tráfico).

LA INMENSIDAD DE INTERNET ha inspirado visualizaciones artísticas de sus nodos y conexiones. Estas imágenes se construyeron con datos de 2003, 2010 y 2015 (*de izquierda a derecha*). El asombroso aumento de la complejidad visual refleja el crecimiento de Internet en esa docena de años. En 2003 existían 40 millones de sitios web; en 2015, 1000 millones. Cualquiera de esos sitios puede enviar programas maliciosos. ¿Cómo defenderse entonces de un ataque que puede provenir de cualquiera de esos 1000 millones de direcciones?

BARRET LYON, THE OPTE PROJECT, OPTE.ORG

LA PREVENCIÓN DE ATAQUES

Excepto en tiempos de guerra, en muy raras ocasiones se ataca un puente abiertamente. Puede que aparezcan con pintadas o que los obstruyan manifestantes, pero incluso tales incidentes son poco frecuentes en comparación con el constante aluvión de ataques contra los sistemas informatizados, que han de ser monitorizados cada segundo de cada día con diversas herramientas, como los cortafuegos (*firewalls*) y los programas para la de detección de intrusiones y programas maliciosos.

Existen varias razones por las que el ciberespacio constituye un blanco más atractivo que los puentes, pero la más importante reside en que los sistemas informáticos almacenan información valiosa. Los intrusos roban datos de tarjetas de crédito y débito, como ocurrió en el ataque a los almacenes Target; asaltan cuentas bancarias; roban secretos industriales y otra información que puedan vender o usar para obtener una ventaja competitiva; descargan y difunden datos para poner en apuros a sus dueños y extorsionan a sus víctimas, secuestrando sus documentos o amenazando con revelar datos comprometidos adquiridos gracias a una brecha en la seguridad. Incluso los archivos que se piensa que no tienen valor para nadie excepto para uno mismo pueden ser rentables para los delincuentes con programas del tipo *ransomware*, que encriptan todos los datos y exigen que se pague un alto rescate por la clave de liberación. Ocurre también con frecuencia que los Estados se infiltran en los sistemas de adversarios y aliados por igual con el fin de adquirir información.

Además, los ciberataques salen relativamente baratos, son fáciles de llevar a cabo y entrañan poco riesgo para los perpetradores. Las herramientas necesarias pueden obtenerse de forma sencilla en Internet. Los *hackers* jóvenes se ven atraídos por la emoción de invadir el sistema de otros, mientras que grupos activistas como Anonymous han encontrado en los ciberataques un medio conveniente de protesta. Para los delincuentes, los delitos informáticos suponen una alternativa de menor riesgo a los golpes tradicionales, como asaltar un banco.

ERRORES DEL USUARIO

Los sistemas informáticos son mucho más vulnerables a las debilidades de sus usuarios humanos que los puentes, donde los daños más probables causados por los conductores no pasan de un corte de tráfico o de un desperfecto en los pretiles.

Los usuarios negligentes o con pocos conocimientos suponen un riesgo permanente para la ciberseguridad. Eligen contraseñas débiles, abren archivos adjuntos infectados con *malware*, pinchan en enlaces que conducen a sitios maliciosos, pierden portátiles y otros dispositivos móviles y hacen caso a peticiones fraudulentas de sus nombres de usuario y contraseñas (*phishing*). Incluso los usuarios cuidadosos pueden ser víctimas de un ataque por el mero hecho de visitar un sitio legítimo que haya sido infectado y que propague un programa malicioso que, automáticamente, se infiltrará en su ordenador.

No solo los usuarios, sino también los administradores de sistemas pueden ser una fuente de vulnerabilidades; por ejemplo, cuando no configuran adecuadamente los sistemas de seguridad, no instalan parches, no eliminan cuentas obsoletas o no responden a las alarmas de seguridad. Los administradores necesitan instalar enseguida las actualizaciones contra las vulnerabilidades recién descubiertas, pero no siempre reaccionan rápido. Kenna Securities halló que las empresas tardan, de media, entre 100 y 120 días en instalar los parches, aunque la probabilidad de que una vulnerabilidad esté siendo explotada alcanza el 90 por ciento a los 60 días.

Parte de la razón por la cual los usuarios no cumplen con sus obligaciones reside en que la seguridad a menudo resulta molesta. A nadie le gusta usar tener que emplear contraseñas de 15 caracteres del tipo de «7t$xKQ34(2@ad9#» ni instalar actualizaciones cuando está ocupado con otros asuntos. A los usuarios les resulta difícil usar métodos de encriptación y reconocer correos electrónicos con enlaces y ficheros adjuntos maliciosos. Algunos no perciben los peligros, y en el puesto de trabajo burlan las protecciones y las reglas de seguridad para terminar más rápidamente sus tareas.

COMPLEJIDAD DE LA PROGRAMACIÓN

Los sistemas digitales son enormemente complejos. Los dos principales sistemas operativos para ordenadores personales, Windows 10 y Mac OS 10.4, constan de 50 millones y 86 millones de líneas de código, respectivamente. Ningún puente tiene tantos componentes.

Cada línea de código de un sistema operativo contiene en potencia errores que pueden ser aprovechados para resquebrajar la seguridad. Encontrar y eliminar las vulnerabilidades en 50 millones de líneas de código resulta endiabladamente difícil

CRONOLOGÍA DE LOS AVANCES TECNOLÓGICOS EN SEGURIDAD	Década de los 60	Década de los 70	Década de los 80	Década de los 90	1.ª década del 2000
Cuestiones emergentes	Computación interactiva. Tiempo compartido. Autenticación de usuario. Ficheros compartidos por medio de sistemas jerárquicos de archivos. Prototipos de «herramientas informáticas».	Redes por paquetes (ARPANET). Redes locales (LAN). Secreto de las comunicaciones y autenticación. Diseño orientado a objetos. Seguridad multinivel. Modelos matemáticos de la seguridad. Sistemas probadamente seguros.	Adopción de los protocolos TCP/IP para Internet. Crecimiento exponencial de Internet. Proliferación de ordenadores personales y estaciones de trabajo. Modelo cliente-servidor para servicios de red. Virus, gusanos, troyanos y otros tipos de programas maliciosos. Ataques por desbordamiento de búfer.	World Wide Web. Navegadores. Transacciones comerciales. Repositorios y filtraciones de datos. Aplicaciones portátiles y archivos de órdenes (*scripts*). Fraude en Internet. Ataques basados en la web. Ingeniería social y ataques para captar datos personales. Redes de pares (P2P).	*Botnets*. Ataques de denegación de servicio. Redes inalámbricas. Plataformas en la nube. Filtraciones masivas de datos. *Ransomware*. Programas maliciosos de publicidad. Internet de las Cosas. Vigilancia. Ciberguerra.
Avances técnicos en seguridad	Controles de acceso. Contraseñas. Estado supervisor.	Cifrado de clave pública. Protocolos criptográficos. *Hashes* (funciones resumen) criptográficos. Verificación de seguridad.	Detección de programas maliciosos (antivirus). Detección de intrusiones. Cortafuegos.	Redes privadas virtuales (VPN). Infraestructura de clave pública (PKI). Conexiones web seguras (SSL/TLS). Biometría. Autenticación con dos factores. Confinamiento (máquinas virtuales, entornos controlados).	Procesos de desarrollo y programación seguros. Información compartida sobre amenazas. Bloqueo de programas de publicidad (*adware*). Mitigación de la denegación de servicio. Seguridad WiFi.

para los desarrolladores del programa, razón por la cual cada año se descubren miles de nuevos errores. Súmense las aplicaciones informáticas (navegadores, correo electrónico, sistemas de bases de datos y procesadores de documentos) y el problema se vuelve rápidamente intratable. Además, aunque los productos informáticos se expidan sin fallos de seguridad conocidos, puede insertarse código informático malicioso y encubierto en cualquier punto de la cadena de suministro. Por ejemplo, se ha sabido que algunos minoristas sin escrúpulos instalaron programas maliciosos de recolección de datos en teléfonos Android fabricados y vendidos sobre todo en China.

Para empeorar las cosas, los sistemas informáticos se encuentran en una constante y dinámica evolución. Mientras que, según la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, la vida media de los puentes es de 42 años, los programas informáticos tienen una duración mucho más corta, que se mide más en años que en decenios. Los programas se actualizan continuamente, y los componentes revisados y nuevos presentan a menudo vulnerabilidades no vistas con anterioridad. Por el contrario, los puentes permanecen estables durante toda su vida, rara vez requieren piezas de repuesto y solo necesitan un mantenimiento físico periódico (pintura, inspecciones).

Por si fuera poco, existen límites teóricos a la ciberseguridad [*véase* «Lo que Church y Turing ya sabían sobre mi portátil», por Salvador Lucas; Investigación y Ciencia, agosto de 2016]. En los años ochenta, Frederick B. Cohen, teórico de la computación y pionero en el campo de la seguridad, demostró que es imposible desarrollar un antivirus que detecte todos los virus informáticos posibles. No sabemos de ninguna limitación teórica para construir puentes seguros.

CONECTIVIDAD

Casi por definición, los cibersistemas están unidos unos con otros. Los ataques pueden proceder de cualquier dirección y tener un origen que no se pueda rastrear. Los puentes no están tan directamente interconectados; un ataque o un fallo en uno de ellos no se propagará a otros.

Los virus y gusanos fueron algunas de las primeras líneas de ataque automatizado que la conectividad de redes posibilitó en la década de 1980. El tristemente célebre gusano Morris, de 1988, infectó en unas horas el 10 por ciento de las máquinas conectadas a la Internet de la época. Aquel episodio motivó la formación del Equipo de Respuesta contra Emergencias Informáticas de la Universidad Carnegie Mellon. Los programas maliciosos se han vuelto tan ubicuos que el sector de los antivirus ha adquirido una gran importancia industrial. Según las estadísticas del Grupo de Trabajo Antiphishing, en el primer trimestre de 2015 la tasa global de infección por *malware* ascendía al 36 por ciento. La menor correspondía a Noruega, con el 20 por ciento, y la mayor, a China, con el 48 por ciento.

Los ataques a puentes requieren algún tipo de presencia física. En el ciberespacio abundan los ataques remotos. La dirección desde la que proviene la agresión probablemente no es la del perpetrador, pues la mayoría de los atacantes transmiten a través de múltiples servidores para confundir la atribución.

La conectividad también ha permitido a los atacantes construir grandes redes de ordenadores infectados, llamadas *botnets*, y usarlas para realizar ataques y enviar correo basura. Son especialmente famosas por llevar a cabo ataques de denegación distribuida de servicio (DDoS, por sus siglas en inglés), que inundan el blanco elegido de tráfico y consiguen así cerrarlo. Se han alcanzado tráficos máximos de cientos de gigabits por segundo, que han causado grandes trastornos. A finales de 2012 y principios de 2013, un grupo iraní cerró, a modo de protesta, el acceso a varios sitios bancarios con ataques DDoS que alcanzaron los 120 gigabits por segundo.

Una de las mayores preocupaciones ligadas a la seguridad nace de la aparición de la Internet de las Cosas, favorecida por el bajo coste de las tecnologías inalámbricas. Otro factor ha sido el cambio en el estándar de las direcciones de Internet para

aumentar el número de dígitos de 32 a 128, lo cual ha ampliado las direcciones disponibles desde unos 4300 millones hasta un número a todos los efectos ilimitado (más de $3{,}4 \times 10^{38}$). En la actualidad, casi todos los dispositivos y electrodomésticos pueden conectarse a Internet. Se ve a la floreciente Internet de las Cosas como un potencial desastre de seguridad, pues los diseñadores de aparatos individuales a menudo reducen sus sistemas operativos al mínimo y no mantienen las técnicas de seguridad. Estos dispositivos contienen muchas más vulnerabilidades que los sistemas operativos comerciales.

Los sistemas informatizados interconectados constituyen en la actualidad un componente esencial de toda infraestructura y se encuentran integrados en los sistemas de control industrial. Se emplean para controlar redes eléctricas, dirigir sistemas de transporte, gestionar las finanzas, transportar petróleo y gas, tratar y distribuir agua, manejar presas y para mucho más. Por tanto, un ataque a un sistema informatizado puede tener consecuencias que van mucho más allá de los ordenadores y de los datos almacenados en ellos: sirven incluso como medio para dañar numerosas estructuras físicas. Los funcionarios públicos y los profesionales de la seguridad muestran una creciente preocupación por que un devastador ciberataque contra infraestructuras críticas pueda conducir a la pérdida de vidas y tener un enorme impacto económico.

FUERZAS DE MERCADO

Eximidos por los acuerdos de licencia, los vendedores de los programas informáticos no tienen, por lo general, responsabilidad legal por los fallos en sus productos. Se nos obliga a aceptar estos «tal y como son». Los constructores de puentes, por el contrario, pueden ser demandados en caso de que haya fallos debidos a una construcción defectuosa.

Además, las compañías de *software* están sometidas a una tremenda presión para sacar sus productos al mercado. Si emplean demasiado tiempo en su desarrollo, perderán cuota de mercado cuando otras empresas se anticipen y lleguen antes al consumidor. Una consecuencia de ello es que los vendedores limitan la cantidad de tiempo que dedican a buscar y arreglar vulnerabilidades. En un estudio realizado por la compañía de programas informáticos de seguridad Prevoty, se halló que el 79 por ciento de las empresas lanzan aplicaciones con errores conocidos, y casi la mitad admitió sacar aplicaciones con vulnerabilidades conocidas al menos el 80 por ciento de las veces. Más del 70 por ciento declaró que las presiones comerciales a menudo prevalecen sobre la seguridad, y el 85 por ciento reconoció que la reparación de vulnerabilidades afectaba considerablemente a la capacidad de sacar a la venta el *software* en el momento previsto.

Por otra parte, las empresas cuyos sistemas informáticos sufren ataques son consideradas con frecuencia responsables del daño que ocasionan a sus clientes. Para resolver una demanda colectiva interpuesta tras la intrusión sufrida, Target creó un fondo de 10 millones de dólares para los clientes cuyos datos de tarjeta de pago corrieron riesgo.

¿HAY ESPERANZA?

Aunque el estado de la ciberseguridad parece sombrío, no todas las noticias son malas. Los desarrolladores de programas informáticos ahora se toman la seguridad más en serio que a principios de este siglo. Hacen caso a sus clientes, que exigen una mayor seguridad de los datos personales que les confían, y temen las demandas que seguramente les interpondrán tras un ataque dañino. Microsoft, por ejemplo, utiliza el Ciclo de Vida de Desarrollo de la Seguridad (SDL, por sus siglas en inglés), un proceso de desarrollo de aplicaciones cuyo objeto es la creación de programas más seguros. La adopción del SDL ha reducido considerablemente el número de vulnerabilidades en sus programas. El mayor énfasis que la industria del *software* pone en cuestiones de seguridad es sin duda uno de los motivos por los que el número de vulnerabilidades comunicadas se ha estabilizado en los últimos años. Aun así, muchos ven la seguridad no como la prioridad absoluta, sino como un compromiso o una concesión frente a otros objetivos, como la funcionalidad y el rendimiento.

La comunidad de expertos en ciberseguridad también ha respondido a las crecientes amenazas con nuevas técnicas y directrices destinadas a manejar los sistemas de forma segura. Aunque ninguna técnica puede lograr por sí sola que un sistema sea inviolable, utilizar los métodos disponibles junto con maneras de proceder reconocidas como seguras pone muchos impedimentos a los intrusos y al *malware*. El Gobierno de Estados Unidos y la industria han elaborado una lista de 20 controles de seguridad críticos. Si todos adoptaran estos protocolos, asistiríamos a un descenso espectacular en el número de ciberataques exitosos.

Además, con la ayuda del sector, los Gobiernos están dando grandes pasos para llegar hasta los responsables de los ciberataques y cerrar *botnets* y sitios utilizados para distribuir programas maliciosos o que sirven de apoyo a los ataques. Los Gobiernos y la industria están compartiendo más información sobre los riesgos, con el fin de que las organizaciones puedan proteger mejor sus sistemas.

Aunque los ciberataques han estado sin duda en alza, también lo ha estado el uso de sistemas informatizados interconectados. Un interesante estudio de Eric Jardine, del Centro de Innovación en Gobernanza Internacional de Canadá, ha encontrado que, en comparación con el crecimiento de Internet, numerosas mediciones relativas al aumento de la inseguridad muestran que esta se está frenando o incluso decayendo. Estos resultados son alentadores. O, al menos, sugieren que la amenaza no nos lleva demasiada ventaja. IyC

Las opiniones de los autores expresadas en este artículo no representan necesariamente las de su empleador ni las del Gobierno de Estados Unidos.

PARA SABER MÁS

Top 50 products by total number of «distinct» vulnerabilities in 2015. Common Vulnerabilities and Exposures, 2015. **https://www.cvedetails.com/top-50-products.php?year=2015**

Global cyberspace is safer than you think: Real trends in cybercrime. E. Jardine. Centre for International Governance Innovation and Chatham House, 2015. **https://www.cigionline.org/sites/default/files/no16_web_1.pdf**

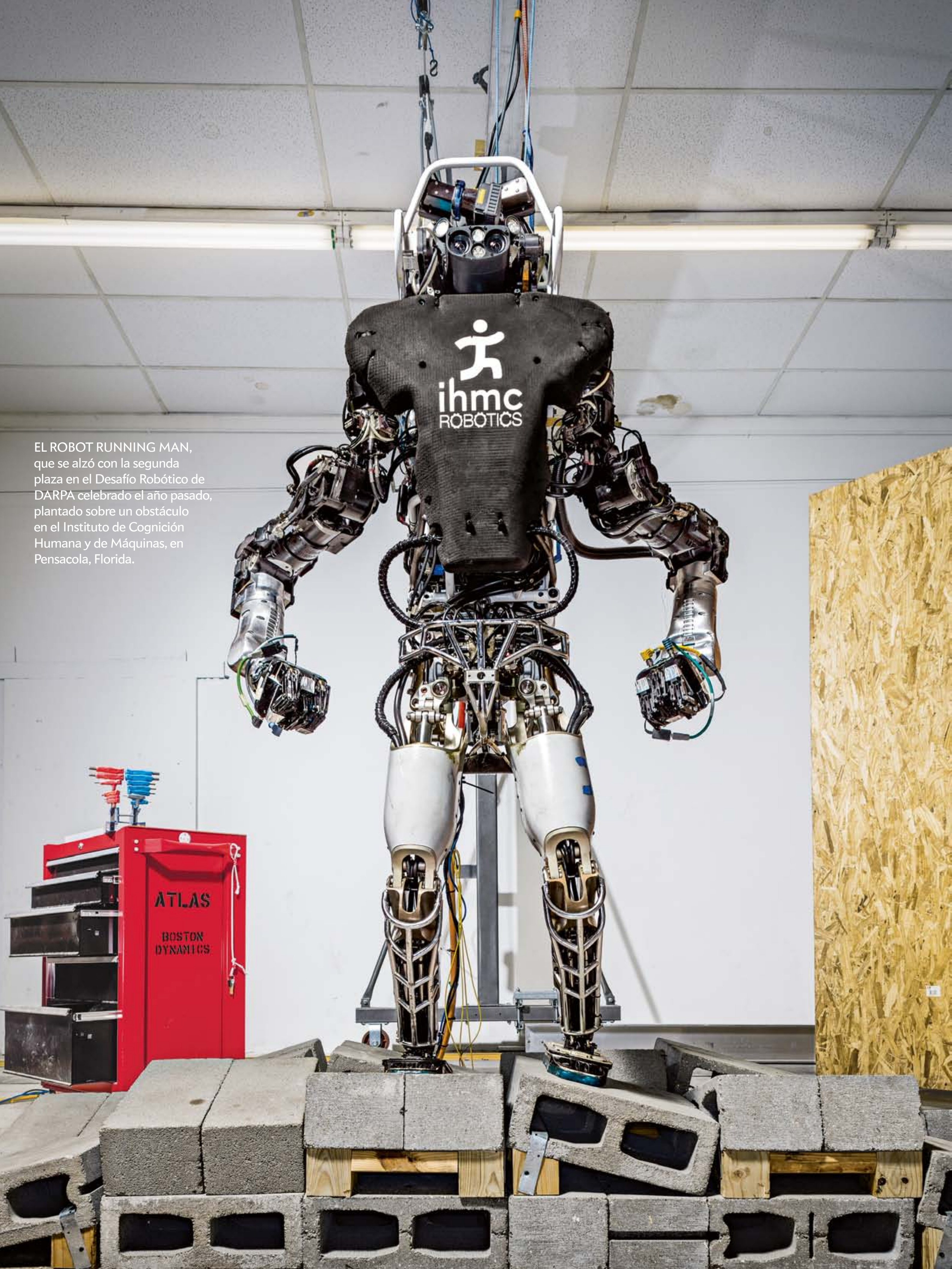
84 fascinating and scary IT security statistics. D. Shephard en *Micro Focus*, 2015. **https://www.netiq.com/communities/cool-solutions/netiq-views/84-fascinating-it-security-statistics**

Cybersecurity: Data, statistics, and glossaries. R. Tehan. Congressional Research Service Report R43310, 2015. **https://www.fas.org/sgp/crs/misc/R43310.pdf**

EN NUESTRO ARCHIVO

Sobrevivir en la ciberguerra. Keren Elazari en *IyC*, junio de 2015.

La privacidad en la era cuántica. Tim Folger en *IyC*, julio de 2016.



EL ROBOT RUNNING MAN, que se alzó con la segunda plaza en el Desafío Robótico de DARPA celebrado el año pasado, plantado sobre un obstáculo en el Instituto de Cognición Humana y de Máquinas, en Pensacola, Florida.

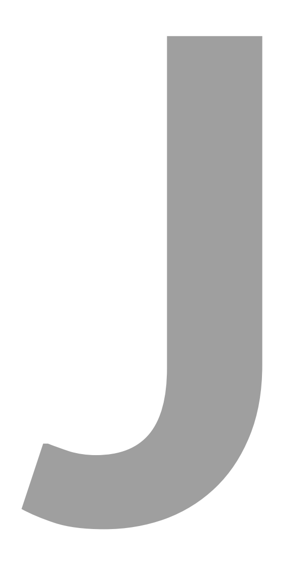
ROBÓTICA



METAL BÍPEDO

¿Por qué resulta tan difícil construir un robot que camine?

John Pavlus



Jerry Pratt vio el cielo en el monitor y supo que algo había fallado. El problema no estaba en el cielo de Pomona, unos cincuenta kilómetros al este de Los Ángeles, azul como de costumbre en una tarde de junio en el sur de California. Era que solo había una razón para que esa imagen apareciera en un monitor que exhibía las imágenes tomadas desde la cámara conectada a la cabeza de un robot humanoide, uno muy caro y complejo. En lugar de ascender con agilidad por un pequeño montón de bloques de hormigón, la máquina, apodada Running Man («Hombre que corre»), se había caído de espaldas.

Pratt no presenció la caída, pero sí lo hicieron los numerosos robotistas, periodistas y espectadores que en 2015 se congregaban a lo largo del recorrido del Desafío Robótico de DARPA (la Agencia de Proyectos Avanzados de Investigación para la Defensa de EE.UU.), o DRC. Pratt y sus colaboradores del Instituto de la Cognición Humana y de Máquinas (IHMC) de Florida estaban allí compitiendo contra otros 24 equipos para ganar un premio de dos millones de dólares. Y, de momento, Running Man yacía paralizado, con la pierna derecha estirada y apuntando hacia el cielo como un actor cómico que, tras darse un costalazo, aguarda a que el director grite: «¡Corten!». Al cabo, la fuerza de la gravedad se impuso: las caderas y el torso del robot se inclinaron sobre un costado mientras el peso muerto de las piernas caía despacio hacia el pavimento y los largos brazos permanecían extendidos y abiertos, como si fuera un ángel de nieve.

No era eso lo que Pratt y sus compañeros querían. Tanto ellos como el resto de los equipos, procedentes de destacados laboratorios de robótica, como los de la Universidad Carnegie Mellon y el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), estaban allí para mostrar que sus robots podían efectuar esas tareas que las personas que no padecen una discapacidad consideran tan corrientes: abrir puertas, conducir coches, utilizar herramientas de mano y caminar sobre dos piernas. En 60 minutos o menos, los concursantes del DRC tenían que conducir un pequeño vehículo, una especie de todoterreno, y salir de él, abrir una puerta y entrar en un edificio, despejar de escombros un pasillo o salvar una pila desordenada de bloques de hormigón, agarrar una herramienta eléctrica y cortar un panel de pladur, girar una válvula metálica grande y subir un tramo corto de escaleras. La mayoría de los robots lograron realizar varias,

EN SÍNTESIS

Lo que en los niños se desarrolla de manera natural sigue siendo inalcanzable para los robots: nadie se ha acercado a construir una máquina que pueda caminar sobre dos o más piernas con la misma eficiencia y estabilidad que los seres humanos u otros animales.

Sin embargo, los ingenieros no desisten. En numerosas aplicaciones futuras (como la respuesta a catástrofes, entre otras), los robots tendrán que salvar escaleras, puertas y otros elementos arquitectónicos diseñados por y para los humanos.

Motivados en parte por competiciones como el Desafío Robótico de DARPA y adoptando diversos enfoques, los investigadores están haciendo progresos hacia el bipedalismo robótico.

JEFF WILSON (*fotografías*)

al menos, de estas tareas, pero también se cayeron. Muchas veces. Un vídeo del certamen en el que se recopilan imágenes de robots perdiendo el equilibrio y desplomándose como universitarios ebrios está destinado a perdurar; en YouTube ya ha sido visto casi 2 millones de veces, y la cifra sigue subiendo.

Seis meses después de la competición, Pratt la recordaba en su laboratorio de Pensacola, en Florida, y tranquilizaba a aquellos preocupados por una rebelión de las máquinas humanoides. «Caminar es difícil», asegura.

PASOS DE BEBÉ

Sí, caminar es difícil. Para comprobarlo, basta observar a un niño de menos de dos años o hablar con alguien que quiere volver a andar tras sufrir una lesión y se está sometiendo a rehabilitación. Pero ¿por qué resulta difícil? ¿Acaso nuestro género no es bípedo desde hace cientos de miles de años? Y otros bípedos, como el avestruz, llevan caminando millones de años. «Se tiene la percepción de que, si los niños pequeños andan, es que es fácil», dice Andy Ruina, profesor de ingeniería mecánica de Cornell, que estudia la locomoción con patas y diseña robots caminantes desde 1992. «Pero los niños pequeños pueden hacer toda clase de cosas que aún no comprendemos.»

Cuando un niño aprende a andar, lo que más le cuesta dominar puede resumirse en una sola palabra: agilidad. Dar pasos, mantener el equilibrio, conservar el impulso, corregir errores, adaptarse al terreno... Cada uno de estos complejos comportamientos resulta necesario pero insuficiente para la locomoción bípeda. Basta una ligera degradación de cualquiera de ellos para que caminar, una armónica integración de movimientos que los adultos sanos dan por garantizada, se convierta enseguida en una actividad torpe, delicada y exasperante.

Las características de la agilidad biológica son justo las opuestas. Primero, es controlada: usamos nuestros sentidos para plantar el pie con seguridad y confianza. Segundo, es robusta: la mayor parte de las veces somos capaces de reaccionar a los imprevistos y recomponernos de los errores. Tercero, caminar es eficiente: para que se convierta en una actividad rutinaria no se requieren cantidades de tiempo, energía o atención que supongan una inadaptación. En otras palabras, un organismo tiene que ser capaz de andar y mascar chicle al mismo tiempo.

Los seres humanos adultos logran este trío de características con una soltura afinada por miles de años de evolución (además de por años de continua práctica en las etapas tempranas de la vida). Aprendemos a controlar y mantener el equilibrio usando la vista, el tacto y la propiocepción. Nuestros reflejos evitan que acabemos en el suelo cada vez que nos topamos con un guijarro inesperado, y unos huesos fuertes, rodeados por un tejido flexible, nos protegen en la mayoría de las caídas. Por último, cada paso que damos es una sinfonía de eficiencia mecánica y computacional: nuestros músculos y tendones pueden absorber de forma pasiva los impactos en un determinado momento y generar propulsión de forma activa en el siguiente, y la médula espinal mantiene los patrones motrices periódicos que permiten que las piernas se muevan en la dirección correcta mientras el cerebro se ocupa de asuntos más importantes.

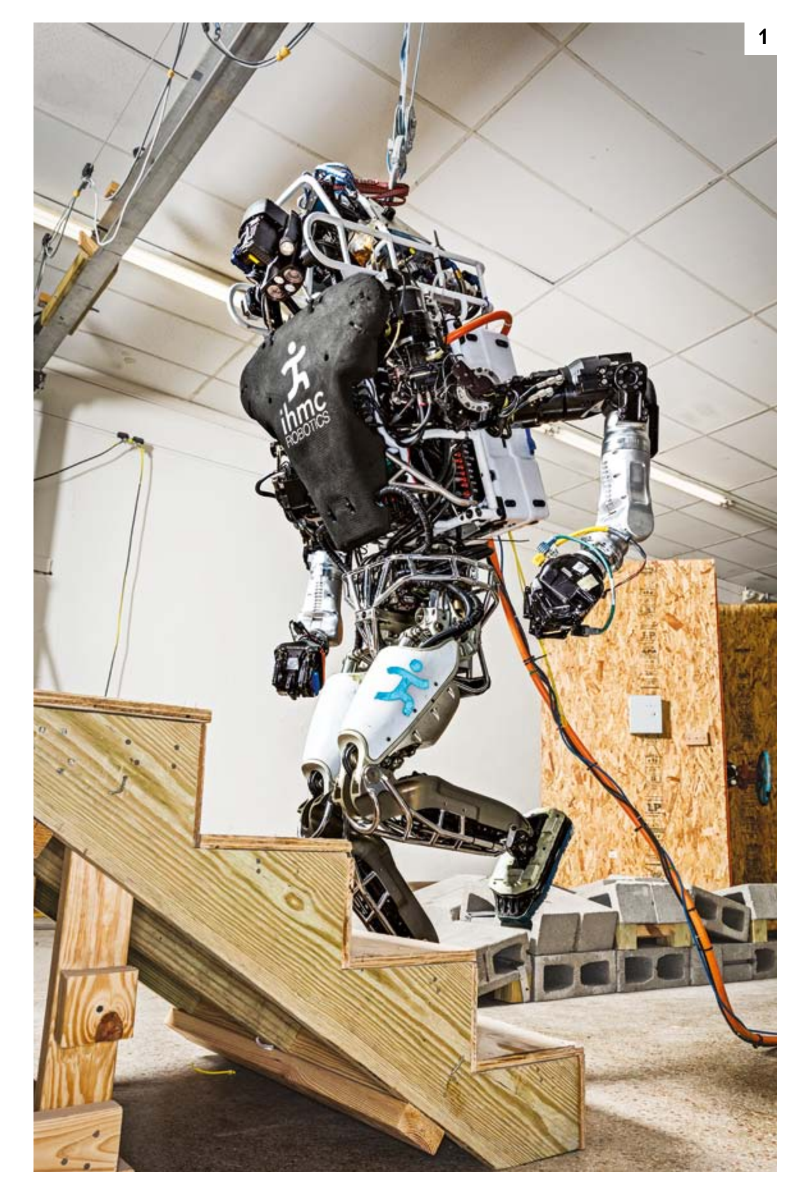
Eso es, por tanto, lo que dificulta que un robot camine: hasta ahora no se ha conseguido diseñar un robot bípedo que combine control, robustez del paso y eficiencia como lo hacen los humanos... o las gallinas, si vamos al caso. ASIMO, el famoso robot de Honda que parece un astronauta, calcula minuciosamente la fuerza, la trayectoria y la cantidad de movimiento requeridas en cada paso: una estrategia enfocada al control. Boston Dynamics, cuyos vídeos virales muestran a su nueva generación de robots humanoides Atlas andando por un bosque nevado e incorporándose por sí solos después de caerse, da prioridad a la robustez del paso: a la velocidad y el equilibrio sobre la planificación y la precisión. (Running Man y varios otros participantes en el DRC eran robots Atlas modificados.) Aaron D. Ames, experto en robótica del Instituto de Tecnología de Georgia que está trabajando en un bípedo sin brazos ni cabeza llamado DURUS, especifica cada posible grado de libertad en el cuerpo del robot con densas ecuaciones matemáticas, cada una de las cuales, si se escribiese por completo, llenaría cientos de páginas. Jonathan Hurst, ingeniero mecánico de la Universidad estatal de Oregón, construyó un robot relativamente sencillo llamado ATRIAS que se basaba en un modelo físico genérico que también describe el comportamiento de las aves que caminan. A pesar de sus diferentes enfoques, tanto Ames como Hurst están interesados en lo mismo: la eficiencia. También existen estrategias híbridas. Pratt, cuyo robot Running Man se alzó con la segunda plaza en el DRC, usaba un método, apodado «del punto de captura», que combina el control de tipo ASIMO con la estabilidad al estilo de Boston Dynamics. Cada enfoque posee sus ventajas, pero ninguno puede emular la eficiencia, flexibilidad, velocidad y precisión del modo de andar de un humano adulto.

Cabe la tentación de sugerir que los ingenieros no deberían molestarse en intentarlo. Al fin y al cabo, Jun Ho Oh, prominente robotista del Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología de Corea (KAIST), ganó los dos millones de dólares del primer premio del DRC, no porque su robot superara a sus contrincantes andando, sino porque evitaba en lo posible la locomoción bípeda (el robot estaba equipado con ruedas en las rodillas y los pies, y durante buena parte del recorrido rodó con ellas mientras se mantenía estable de rodillas). Y, de igual modo, los hermanos Wright no inventaron el aeroplano imitando ciegamente la forma en que las aves baten las alas.

Pero existen razones válidas por las que el deseo de construir robots caminantes persiste. La aplicación más obvia es tan antigua como la leyenda del gólem: una versión mejor y más fuerte de un cuerpo humano podría llevar a cabo tareas que se consideran demasiado difíciles, peligrosas o tediosas para que una persona se arriesgue a ejecutarlas con su propio cuerpo. El propio Desafío Robótico de DARPA estaba pensado para simular el accidente que en 2011 sufrió la central nuclear japonesa de Fukushima Daiichi. La catástrofe podría haberse mitigado si se hubiera dispuesto de robots capaces de entrar en la planta, moverse a través de escaleras o pasillos llenos de escombros y manipular algunas válvulas o interruptores. La respuesta a catástrofes constituye tan solo una aplicación de muchas. No parece inconcebible que los robots humanoides puedan automatizar o potenciar la telepresencia en oficinas y la asistencia doméstica, la logística y entrega de mercancías, las patrullas de vigilancia y la supervisión de la seguridad, o la exploración y extracción de recursos. «No sé de ninguna forma existente, biológica o mecánica, más apropiada para la locomoción terrestre que un humanoide», afirma Pratt.

John Pavlus es escritor y cineasta interesado en cuestiones de ciencia, tecnología y diseño. Su trabajo ha aparecido en *Bloomberg, Businessweek, MIT Technology Review* y otros medios.







RUNNING MAN subiendo una escalera (*1*) y abriendo una puerta (*2*) en el laboratorio de sus creadores, en el Instituto de Cognición Humana y de Máquinas de Florida; ambas tareas formaban parte del Desafío Robótico de DARPA. John Carff, que guiaba al robot durante la competición, trabaja con la consola de control del laboratorio (*3*).



El bipedalismo robótico también podría generar importantes beneficios indirectos. Ames opina que construir sistemas robóticos que reproduzcan todos los aspectos de la locomoción humana nos servirá para entender cómo se camina. Si se consigue que los robots se muevan como la gente, será posible ayudar a muchas personas que no pueden andar.

La esperanza que suscita un robot humanoide bípedo viene a ser como la de la inteligencia artificial: la versatilidad sin límites. Si la inteligencia artificial supondría la máquina pensante definitiva, un robot humanoide podría llegar a ser la «máquina de hacer cosas» definitiva, una metaherramienta de propósito verdaderamente general, capaz de alcanzar y actuar en entornos imprevisibles y que, a la vez, aprovecharía todos los dispositivos útiles que ya hemos inventado.

CONTROL COMPLETO

El laboratorio de robótica de Pratt en el IHMC parece un cruce entre un *makerspace*, uno de esos lugares de trabajo compartidos por creadores independientes, y una pequeña empresa emergente de programas informáticos. Dos investigadores jóvenes dan vueltas con un monopatín de tipo *wave* entre mesas altas, para trabajar de pie, que no están separadas por ninguna pared o panel, y se disparan balas de espuma el uno al otro con armas de juguete. En un área de trabajo atestada, similar a un hangar, tienen una réplica del recorrido del DRC y una grúa pórtico grande y metálica. De ella cuelga Running Man como una res abierta en canal, con las extremidades laxas, los pies en forma de losa apuntando hacia abajo, apenas tocando el suelo de cemento con la puntera. John Carff, el operador de robots con más experiencia del laboratorio, ejecuta la rutina de calibración de Running Man. Aún colgando, el robot empieza a levantar los brazos y las piernas hasta adoptar una pose precisa, como *El hombre de Vitruvio* de Leonardo da Vinci.

Apoyado contra una columna junto a la grúa, hay un largo trozo de tubería de color blanco con un pequeño guante de boxeo rojo pegado con cinta adhesiva a su extremo. Representa la distancia mínima de seguridad que debe guardarse cuando el robot está activo. Pratt bromea con una frase hecha que en inglés se usa para decir que uno no tocaría algo ni con un palo de tres metros de largo; mientras, una polea motorizada baja los pies de Running Man hasta el suelo. Un grueso cable eléctrico suministra 10 kilovatios de potencia a los actuadores hidráulicos

MODELOS

El método del palo saltador

Jonathan Hurst y sus alumnos de doctorado de la Universidad estatal de Oregón construyeron ATRIAS (acrónimo de «supón que el robot es una esfera» en inglés) para estudiar los fundamentos de la locomoción bípeda. El funcionamiento del robot se basa en el modelo masa-resorte, que describe la acción de caminar mediante un sistema constituido por un cuerpo masivo unido a un muelle sin masa. El resultado muestra una asombrosa agilidad: ATRIAS puede andar y correr a una velocidad de dos metros por segundo y se recupera con facilidad incluso cuando se le propina un puntapié en mitad de la zancada.

Fuerza en la cadera
Los motores de las caderas de ATRIAS están unidos a piernas provistas de resortes que rotan pasivamente.

Paso elástico
Los resortes en las piernas de ATRIAS conservan parte de la energía de cada pisada y la transforman en trabajo, que impulsa el siguiente paso del robot. Las articulaciones de las patas de un animal actúan prácticamente igual.

FUENTE: «DYNAMIC MULTI-DOMAIN BIPEDAL WALKING WITH ATRIAS THROUGH SLIP BASED HUMAN-INSPIRED CONTROL», POR AYONGA HEREID ET AL., EN *PROCEEDINGS OF THE 17TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYBRID SYSTEMS: COMPUTATION AND CONTROL*; ABRIL DE 2014; BROWN BIRD DESIGN (*ilustración*)

de este humanoide de 175 kilos de peso. «Corre por sus venas la potencia de unos 12 caballos», declara Pratt. «Si algo saliera mal y te golpeara en la cara, podría matarte.»

Cuando Pratt y Carff ensayan con Running Man algunas de las pruebas que realizó en el DRC (mantener el equilibrio sobre un pie, andar varios pasos hacia un bloque de hormigón, subir a este y bajar a continuación), parece al mismo tiempo imponente y muy frágil. Su descomunal torso, revestido con una jaula antivuelco acolchada, permanece erguido sobre unas piernas que se estrechan por la pantorrilla, lo que le da un aire de estar cargado de hombros, con demasiado peso en la parte superior. En ese momento no tiene instalado el programa que le permite recuperarse tras recibir un empellón, de modo que, si se le empujase con ganas, se le podría derribar (aunque el arnés de seguridad enganchado a la grúa lo sujetaría). Su forma de moverse recuerda a la de un anciano que arrastra los pies y ha de pensar cada paso cuando atraviesa la calle con un andador. Sin embargo, pisa con firmeza: el arnés se afloja visiblemente cuando la considerable mole de Running Man corona los bloques de hormigón.

El nombre de la estrategia que Pratt emplea para planificar los pasos de Running Man —el método «del punto de captura»— se refiere a las posiciones en el suelo que el pie de un bípedo debe alcanzar para impedir que el cuerpo se caiga. Cuando alguien se desplaza a rápidas zancadas o corre, no se necesita determinar por adelantado el punto de captura con tanta exactitud, pues el bípedo no está balanceándose mucho tiempo antes de dar el siguiente paso. Sin embargo, cuando una persona camina despacio o sobre un terreno irregular, la ubicación de cada paso tiene mayor importancia. En cuanto uno se desvía unos centímetros, va a dar tumbos.

Imagínese que nos valemos de unas rocas para cruzar un arroyo. Una estrategia consistiría en caer rápidamente hacia delante a cada paso, sobre unos puntos de las rocas que más o menos sean los adecuados para mantener el equilibrio y la trayectoria. La alternativa consistiría en avanzar despacio y con cuidado, plantando el pie en el punto correcto para transferir con seguridad nuestro peso en cada movimiento.

Según Pratt, Running Man supera por mucho a los humanos en su capacidad de detectar en tiempo real su propia posición en el espacio. Lo consigue mediante una unidad de medición inercial en la pelvis y un programa que recalcula la estabilidad y la orientación mil veces por segundo. Sin embargo, Running Man carece de algo que nosotros sí poseemos: unas extremidades ligeras y flexibles, capaces de moverse rápidamente para corregir errores o perturbaciones sobre la marcha. Para

aclarar este punto, Pratt describe un juego que practica con sus hijos: «Cuando vamos paseando por la calle, de repente grito: "¡A recuperarse del empujón!", y les doy un empellón», dice riendo entre dientes. Si le gastara la misma broma a Running Man, hay una probabilidad considerable de que se estrellara contra el suelo a pesar de su avanzado programa de recuperación y sus articulaciones hidráulicas de 12 caballos de potencia.

Otra ventaja que el cuerpo humano tiene sobre los robots reside en su capacidad para levantarse tras una caída, o, como mínimo, para no romperse en pedazos. «Aterrizan sobre grandes piezas de metal pesado, así que resulta difícil construir algo que pueda sobrevivir a una caída», dice Pratt.

Por tanto, el hecho de que los robots bípedos que compiten en el DRC se parezcan más a débiles y agarrotados ancianos que a temibles y ágiles Terminators se debe a que sus cuerpos los obligan a andar así. «El cuello de botella [de la ingeniería de robots bípedos] no tiene que ver en absoluto con la computación, sino con la parte material», asegura Pratt. «Si pudiéramos construir un robot con algo que presentara las mismas propiedades que un músculo —un actuador ligero y eficiente energéticamente, capaz de funcionar como un potente motor en un momento dado y como un muelle pasivo al siguiente—, creo que sería muy bueno.»



LOS AMOS DE RUNNING MAN: Doug Stephen (*izquierda*) investiga en el Instituto de Cognición Humana y de Máquinas (IHMC) de Florida, cuyo grupo de robótica dirige Jerry Pratt (*derecha*).

EL MODELO MASA-RESORTE

ATRIAS, el robot caminante de Hurst, es ciego como un topo y sordo como una tapia. Ni siquiera tiene cabeza, tan solo una barra de metal que sobresale de su tórax negro con forma de caja. Hurst y sus estudiantes la usan para guiar al robot mientras se pavonea como un pollo mecánico decapitado por el Graf Hall, uno de los edificios de la Universidad estatal de Oregón. Sin embargo, pese a estas aparentes deficiencias, ATRIAS es capaz de realizar una hazaña de aires sorprendentemente humanos que ninguno de los robots bípedos que calculan puntos de captura y planifican trayectorias pudo lograr en la competición de DARPA: tropezar con un obstáculo inesperado y seguir caminando como si nada hubiera ocurrido. En comparación con el lento y pesado juego de piernas de la mayoría de los humanoides bípedos, ATRIAS es Gene Kelly mientras baila *Cantando bajo la lluvia*.

«Diseñamos este robot como una herramienta científica que solo tenía un propósito: investigar los principios básicos que rigen el caminar», dice Hurst. En otras palabras, no se espere ver a ATRIAS corriendo como un avestruz hacia ninguna catástrofe futura. Sin embargo, si la manera en que Hurst interpreta la locomoción bípeda es correcta, puede que no haya que esperar a que se inventen los músculos artificiales para que los robots caminen con una eficiencia y una robustez en el paso similares a las de los animales.

ATRIAS es el acrónimo en inglés de «supón que el robot es una esfera», en referencia a un famoso chiste entre físicos que básicamente significa «no te compliques la vida». Su comportamiento se basa en una teoría de la locomoción con patas que cuenta ya varias docenas de años: el modelo masa-resorte, según el cual todos los detalles necesarios para describir a un caminante compuesto de huesos, músculos y tendones pueden reducirse a solo dos elementos: la masa de un cuerpo unida por un único punto a una pierna provista de un resorte y sin masa (en el mundo real, lo más ligera posible).

El sistema masa-resorte es poco más que un palo saltador (un *pogo stick*) controlado por ordenador y con un peso en la parte superior. Pero este modelo ha conformado la ingeniería de la locomoción de robots con patas durante decenios, de manera muy destacada en el laboratorio Leg («pierna») del MIT, donde, a finales de los años ochenta y principios de los noventa, Marc Raibert, su fundador e investigador principal, llevó a cabo un innovador trabajo con robots que brincaban y corrían antes de abandonar el mundo académico y fundar Boston Dynamics. (Hurst y Pratt también pasaron un tiempo en el laboratorio Leg antes de montar sus respectivos laboratorios de robótica equipada con patas.)

El modelo masa-resorte reviste importancia porque proporciona uno de los fundamentos de un aspecto esencial de la locomoción: la estabilidad dinámica. Un robot que camine dinámicamente estable mantendrá el equilibrio igual que un ser humano: atajando a cada paso su caída. Si una perturbación o un error interrumpen la zancada y el caminante no corrige el paso a tiempo para sostener su centro de masas, se caerá. «El centro de gravedad de un cuerpo humano se encuentra a unos 90 centímetros del suelo; eso significa que hay que rotar la pierna hasta la posición correcta en menos de un tercio de segundo para evitar una caída considerable», explica Pratt.

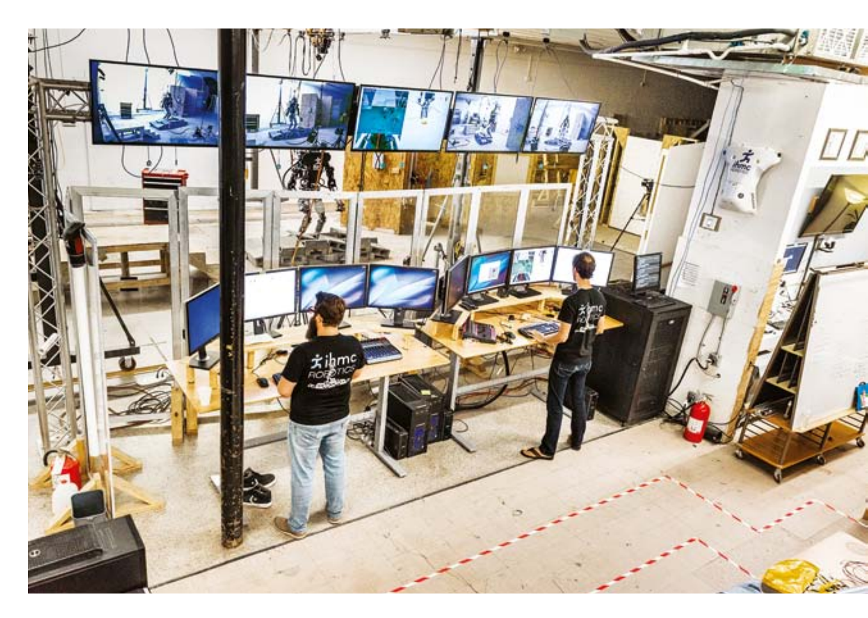
La estabilidad estática adopta un enfoque opuesto: en vez de mantener un estado de caída controlada, trata la acción de caminar «como una perturbación de la inmovilidad», en palabras de Ruina. La trayectoria y el momento lineal de cada paso deben calcularse por adelantado de manera precisa, con el fin de que el centro de masas del robot permanezca continuamente equilibrado en cada punto de la zancada. Los primeros humanoides bípedos se atenían a la estabilidad estática para facilitar el control de las rígidas extremidades del robot y permitirles, al menos en teoría, detenerse a mitad de la zancada sin desplomarse. Los robots humanoides actuales, incluidos los que compitieron en el DRC, aún emplean una versión de esta estrategia, denominada

estabilidad cuasiestática, que requiere igualmente dar los pasos despacio, posando la planta completa del pie en el suelo, para mantener el equilibrio.

Los caminantes bípedos cuasiestáticos necesitan un elevado número de actuadores, que consumen mucha energía y una gran potencia computacional para controlar su característica forma de andar rígida, con las piernas semiflexionadas. Estos robots siguen siendo, además, demasiado sensibles a las perturbaciones. Sin embargo, un bípedo dinámicamente estable basado en el modelo masa-resorte, como es el caso de ATRIAS, delega buena parte de esta actividad en las interacciones físicas que ocurren de modo natural entre las patas y el terreno. «Cuando se camina por un terreno rocoso, si se hace que una pierna rote hacia fuera y se la deja caer, se ajustará automáticamente al sitio en el que pise», explica Pratt, que empleó técnicas similares mientras diseñaba bípedos en el laboratorio Leg del MIT a finales de los noventa.

Si se combina con fuertes motores en la cadera y piernas capaces de rotar pasivamente (sin ser propulsadas por motores), el modelo masa-resorte puede dar lugar a un modo de andar eficiente que se recupera sorprendentemente bien de las perturbaciones. Hurst habla de «rendimiento semejante al de un animal» para describir la combinación de ahorro energético y agilidad que caracteriza el modo de andar de ATRIAS. Cuando representó los datos del movimiento del robot a lo largo del tiempo, obtuvo una curva que se ajustaba estrechamente a la de un humano y a la de varias especies de aves no voladoras.

Hurst opina que esta correspondencia implica que los principios físicos utilizados para diseñar el comportamiento y el cuerpo de ATRIAS podrían ser idénticos a algunos de los que subyacen al bipedalismo natural. «ATRIAS no es una máquina biomimética», explica Hurst. «Sus piernas no se parecen en nada a las de un hombre ni a las de una gallina. Pero las pautas de locomoción que observamos son, en el fondo, los mismos. Eso me indica que hemos encontrado algo, y probablemente no requerirá actuadores más rápidos ni más computación.»



ÁREA DE ENTRENAMIENTO: Stephen (*izquierda*) y Carff (*derecha*) trabajan en las estaciones de control del laboratorio del IHMC. Carff guía a Running Man mientras Stephen revisa los datos mostrados en los distintos monitores.

ADAPTARSE MIENTRAS SE CAMINA

Los dos millones de dólares del primer premio del Desafío Robótico de DARPA fueron para el robot DRC-Hubo+, de Jun Ho Oh. Un simple vistazo a su laboratorio, el HuboLab, demuestra que su éxito no surgió de la noche a la mañana.

Inmerso en un taller parecido a un búnker del campus del KAIST, en la ciudad surcoreana de Daejeon, el laboratorio alberga las versiones obsoletas del robot humanoide que Oh ha ido creando durante los últimos quince años. Cuelgan de pequeñas grúas pórtico, como trajes que han pasado de moda. Ahí está el diseño Hubo original, que era una copia, del tamaño de un niño, del robot ASIMO. Oh lo improvisó en 2004 con las sobras de los presupuestos de investigación de sus colegas después de que el Gobierno surcoreano se negara a financiar el proyecto. También puede verse una versión que sí recibió financiación tras la exitosa prueba de concepto de Oh, despojada ahora de su carcasa gris externa y exhibiendo sus metálicas entrañas como si formara parte de una exposición *Body worlds* de cuerpos preservados sin piel, solo que robóticos; o un prototipo de Hubo de color negro y sin cabeza que Oh construyó para efectuar pruebas de estrés en las rigurosas condiciones de la simulación de catástrofe propuesta por DARPA. El mismo DRC-Hubo+ recuerda a un juguete GoBot de tamaño natural, con detalles rojos y azules que decoran su delgado y geométrico cuerpo de aluminio cepillado. Y, como les pasa a esos juguetes, el arma secreta de Hubo no es su inteligencia ni su fuerza, sino la capacidad de transformar su forma humanoide de maneras sorprendentes.

Oh tiene un aire alegre, algo excéntrico. Se siente cómodo aportando un poco de espectáculo, sobre todo desde que DARPA le entregó el cheque de dos millones de dólares. Un día de principios de febrero, Oh y sus estudiantes de doctorado llevaron a cabo demostraciones para una delegación de tecnócratas franceses que estaba de visita, el director del KAIST y un oficial del Ejército coreano. La semana anterior había acompañado a Hubo a la reunión del Foro Económico Mundial celebrada en Davos, Suiza.

En vista de los galardones y de la fama de Hubo, cabría suponer que Oh tiene una fe ilimitada en la destreza para andar de su robot. Sin embargo, relata con jovialidad con qué frecuencia se caía mientras lo preparaban para el DRC: «Alrededor de una vez al mes, pero la mayoría de las veces los daños no fueron para tanto», comenta. Y admite abiertamente que su estrategia ganadora dependía de evitar la locomoción bípeda donde fuera posible: «Caminar funciona el 99 por ciento de las veces en el laboratorio; pero, en la realidad, es en el otro 1 por ciento donde siempre se encuentran los problemas», apunta.

En un principio, Oh pretendía que Hubo hiciera el recorrido del DRC andando, igual que Running Man. Pero después de experimentar repetidas dificultades durante los ensayos, Jungho Lee (colega robotista y cofundador de Rainbow, una empresa derivada del HuboLab que comercializa el robot y su tecnología) convenció a Oh de que intentara una táctica más conservadora. En vez de jugarse sus opciones al imperfecto modo de caminar de Hubo, Oh ideó una solución que denomina «movilidad multimodal». Otra expresión que le viene a uno a la mente es «cualquier cosa que funcione».

En esencia, Oh convirtió a Hubo en un Transformer. En terreno llano, el robot se arrodilla y se desplaza sobre las ruedas que lleva incorporadas en las rodillas y en los pies. El torso

también puede rotar independientemente de la pelvis, lo cual le permite adoptar posturas que maximizan su eficiencia de maneras ingeniosas. Por ejemplo, a la hora de enfrentarse al pasillo lleno de escombros del DRC, Hubo no perdió el tiempo —ni se arriesgó a una caída— quitando los obstáculos a mano desde una posición vertical. Se arrodilló sobre las ruedas, giró la parte superior del cuerpo 180 grados y usó las plantas planas de los pies —que así miraban «hacia delante»— a modo de arietes, apartando los escombros de su camino mientras avanzaba rodando con rapidez y sin correr peligro.

El ingenio de Oh produjo un robot humanoide con piernas cuyo rendimiento combinaba precisión, robustez del paso y eficiencia sin incumplir la letra de las normas del DRC. Pero ¿permaneció fiel a su espíritu? Eso depende de a quién se pregunte. «A mí no me gustaron», opina Ames sobre las transformaciones de Hubo. (Su humanoide DURUS no compitió en el recorrido principal del desafío, pero venció en la prueba de resistencia, una competición secundaria de locomoción bípeda ultraeficiente.)

Tony Stenz, de la Universidad Carnegie Mellon, tiene una opinión diferente. Su robot CHIMP, que terminó en el tercer puesto, evitaba caminar y prefería desplazarse sobre cuatro patas equipadas con ruedas oruga. «Hay que estudiar el problema y concebir el mejor diseño para resolverlo, considerando todos los factores», manifiesta. «Si sales [al recorrido del DRC] y dices que la solución debe tener forma bípeda, entonces te respondería que la estás restringiendo enormemente y que quizá ya no sea la óptima.»

Oh coincide con él, aunque es tan optimista acerca de la utilidad de los bípedos humanoides como el que más en el DRC. «Si el modo de caminar [humanoide] fuese perfecto el cien por cien de las veces, no necesitaríamos la movilidad multimodal», señala. Comparte la creencia de Pratt de que el equipamiento material frena el avance de los humanoides, y planea dedicar los próximos dos años a entender los actuadores partiendo de cero. De todas formas, en referencia a afinar la efectividad de Hubo, añade: «No voy a esperar a que haya actuadores innovadores, de modo que tendremos que recurrir a los motores eléctricos y a los sistemas hidráulicos o neumáticos». Y si eso implica idear nuevos trucos locomotores para compensar el imperfecto rendimiento de los humanoides bípedos, que así sea.

CASI HUMANO

En febrero, Boston Dynamics dio a conocer un vídeo de su nuevo robot humanoide, donde se le veía ejecutando casi todas las tareas que a los robots que compitieron en el DRC les había costado mucho realizar o que ni siquiera pudieron llevar a cabo. El nuevo robot (una versión rediseñada del mismo humanoide Atlas que varios equipos emplearon en el DRC) podía acercarse a una puerta, abrirla y franquearla con paso brioso, casi humano; era capaz de bajar por un terraplén irregular y recuperar el equilibrio aunque resbalase en un terreno nevado; se agachaba hasta ponerse en cuclillas y se incorporaba desde esa posición con total confianza mientras agarraba un peso de cinco kilos. Se caía de bruces, con fuerza, sin hacerse añicos ni rociar el fluido de una vena hidráulica rota (como le ocurrió memorablemente a un desafortunado participante en el DRC de 2015). Pero quizá lo más impresionante de todo era que, a continuación, se reincorporaba solo y volvía a ponerse de pie.

La exhibición ha conmocionado a la comunidad robótica, causando la misma impresión que cuando Deep Blue derrotó a Garri Kaspárov al ajedrez. Ruina lo definió como un punto de inflexión, y Ames y Hurst lo calificaron de espectacular y de auténtico logro, respectivamente. Pratt alabó su «fenomenal» repertorio de movimientos, en especial la forma en que podía acuclillarse hasta abajo del todo. Aun así, ninguno de ellos considera que se haya superado el problema de darle robustez al andar bípedo, y no solo porque Boston Dynamics se niegue a compartir los detalles científicos o la ingeniería de su creación. «Se trata de la nueva frontera tecnológica», dice Ames. «Lo que han presentado es una solución, y claramente mejor que las de la mayoría. Pero no se trata de la solución definitiva.» (Boston Dynamics no ha respondido a las repetidas peticiones de entrevista efectuadas por nuestra parte.)

Para estos investigadores aún persisten las mismas preguntas. ¿Cómo podrían los actuadores mecánicos ofrecer un par motor elevado y explotar al mismo tiempo la dinámica pasiva? ¿Qué algoritmos de control permitirán a un robot establecer la diferencia entre subir cuidadosamente de puntillas una escalera y superar con rápidas zancadas un montículo de rocas? ¿Cómo aumentará la eficiencia de la ingeniería del sistema y cómo disminuirá su precio? «Para esto no hay ninguna ley de Moore», afirma Pratt.

Así las cosas, la labor para resolver los problemas de la locomoción bípeda continúa. Hurst está trabajando ahora en un sucesor de ATRIAS que, en simulaciones, ya puede correr, caminar, guiarse a sí mismo y levantarse del suelo. Ames planea bajar a DURUS de la cinta de correr y sacarlo a pasear por el campus del Instituto de Tecnología de Georgia en algún momento de 2017. Ames y Pratt participan en el proyecto Valkyrie, de la NASA, que persigue crear un robot humanoide que acompañe a los astronautas a Marte; entretanto, Ruina está desarrollando un bípedo llamado Tik-Tok que, según él, presentará un funcionamiento y una eficiencia casi humanos usando componentes comerciales baratos.

«Teníamos esperanzas de grabar un vídeo como el de Boston Dynamics dentro de uno o dos años, pero nos las han arrebatado», admite Ruina. «Por un instante pensé: "¿Y ahora qué voy a hacer durante el resto de mi vida?". Pero entonces me acordé de los hermanos Wright. Su invención no supuso el fin, sino el principio. La teoría de la dinámica del aeroplano vino después. Atlas es, de lejos, el bípedo más impresionante que se haya construido jamás. Pero ¿significa que ya no queda nada que hacer? No. Abre un nuevo mundo de ideas.» IyC

PARA SABER MÁS

Capture point: A step toward humanoid recovery. Jerry Pratt et al. Presentado en 6th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Génova, Italia, 4-6 de diciembre de 2006. Disponible en **www.ihmc.us/users/jpratt/publications/2006_Humanoids_CapturePoint_Pratt.pdf**

Bio-inspired swing leg control for spring-mass robots running on ground with unexpected height disturbance. H. R. Vejdani et al. en *Bioinspiration & Biomimetics*, vol. 8, n.º 4, art. 046006, diciembre de 2013.

First steps toward formal controller synthesis for bipedal robots. Aaron D. Ames et al. en *Proceedings of the 18th International Conference on Hybrid Systems: Computation and Control*, págs. 209-218, 2015.

Designing robots to walk and run. Jonathan Hurst. Seminario disponible en **www.youtube.com/watch?v=2NVFymqa8qY**

EN NUESTRO ARCHIVO

Sensores del exosqueleto y automoción. Sasha N. Zill y Ernst-August Seyfarth en *IyC*, septiembre de 1996.

RoboCup: La copa robótica mundial de fútbol. Hiroaki Kitano y Minoru Asada en *IyC*, septiembre de 2002.



INTERNET

LA ERA DE LA (DES)

La expansión de las redes sociales digitales presenta un lado oscuro: la difusión masiva de informaciones falsas y teorías de la conspiración

Walter Quattrociocchi

INFORMACIÓN

LA CONSPIRACIÓN DE LAS CONSPIRACIONES: Según una de las teorías de la conspiración más populares, algunos aviones dejarían «estelas químicas» (*chemtrails*) con el objetivo de verter sustancias nocivas sobre la población con fines siniestros. La difusión de contenidos en Internet, caracterizada por la ausencia de intermediarios, ha dado gran repercusión a todo tipo de informaciones inverosímiles y sin fundamento.

Walter Quattrociocchi investiga en la Escuela de Estudios Avanzados sobre Instituciones, Mercados y Tecnología de Lucca, en Italia, donde coordina el Laboratorio de Ciencia Social Computacional. Su trabajo se centra en la caracterización cuantitativa de las dinámicas sociales, con énfasis en la creación y difusión de narrativas en Internet.





quién no le ha ocurrido que, al cenar con amigos o familiares, algunos quizá con cierto nivel de estudios, la conversación acaba en una noticia leída en Internet sobre, por ejemplo, la influencia en el cambio climático de las «estelas químicas» de los aviones (*chemtrails*) o las ventajas de la medicina alternativa? ¿Quién no ha seguido en televisión algún debate entre actores o cantantes famosos que, sin tener la menor noción de estadística ni de economía, se transforman de repente en analistas económicos y políticos que nos revelan hasta qué punto el señoreaje bancario y el Nuevo Orden Mundial están alterando la sociedad?

¿Qué ha cambiado en nuestro mundo informativo y en la manera de construir nuestra opinión? ¿Qué función desempeñan las redes sociales como Facebook, Twitter o YouTube en la difusión y la popularidad de las teorías conspirativas?

La ciencia se está ocupando de ello. En los últimos años, se han desarrollado varias técnicas que, gracias al análisis de un ingente volumen de datos procedentes de las redes sociales, han permitido estudiar su dinámica con un alto grado de resolución. La difusión de contenidos falaces no constituye un problema menor. En 2013, el Foro Económico Mundial, una organización independiente que analiza los problemas más apremiantes a los que se enfrenta nuestro mundo, señalaba en un informe sobre riesgos globales que una de las cuestiones más interesantes y, al mismo tiempo, más peligrosas para la sociedad era, a la par que el terrorismo, la gran rapidez con que se difunden en Internet las informaciones infundadas o falsas.

Internet ha modificado la manera en que las personas interaccionamos y encontramos amigos, foros y comunidades de interés. También ha cambiado el modo en que filtramos la información y formamos nuestras opiniones. Este panorama, sumado a una exposición a la información guiada por el sesgo de confirmación, así como a un considerable analfabetismo funcional (la incapacidad de comprender eficazmente un texto básico, que, según datos de la OCDE, en Europa afecta a uno de cada cinco individuos de entre 15 y 65 años), puede dar origen a verdaderos fenómenos masivos en torno a informaciones falsas. La radiografía de tales dinámicas sociales pone de manifiesto tanto lo alarmante de la situación como la poca adecuación de las soluciones ensayadas hasta ahora, incluidas las técnicas algorítmicas diseñadas para frenar la generación, la difusión y el refuerzo de narrativas amañadas.

En 2009, el investigador de Harvard David Lazer y sus colaboradores publicaron en *Science* un artículo, «Ciencia social computacional», que acabaría sentando las bases de un nuevo campo de investigación. A partir de un enfoque basado en datos, esta nueva disciplina conjuga matemáticas, estadística, física, sociología e informática, y tiene como objetivo estudiar los fenómenos sociales de manera cuantitativa, empleando para ello el rastro digital que dejamos en las redes sociales. Los internautas seleccionan contenidos, los comparten, los comentan y dejan huellas de esas acciones. Todo ello ha permitido analizar la sociedad con un grado de detalle sin precedentes que va mucho más allá de la especulación. En esta línea, hemos progresado de forma notable a la hora de entender la difusión y el consumo de información, su efecto sobre el proceso de formación de opiniones y la manera en que las personas se influyen mutuamente.

EN SÍNTESIS

Las redes sociales ofrecen una extraordinaria libertad informativa. Sin embargo, también alimentan la difusión descontrolada de contenidos conspirativos y pseudocientíficos. El problema ha sido calificado por el Foro Económico Mundial como una de las mayores amenazas para la sociedad.

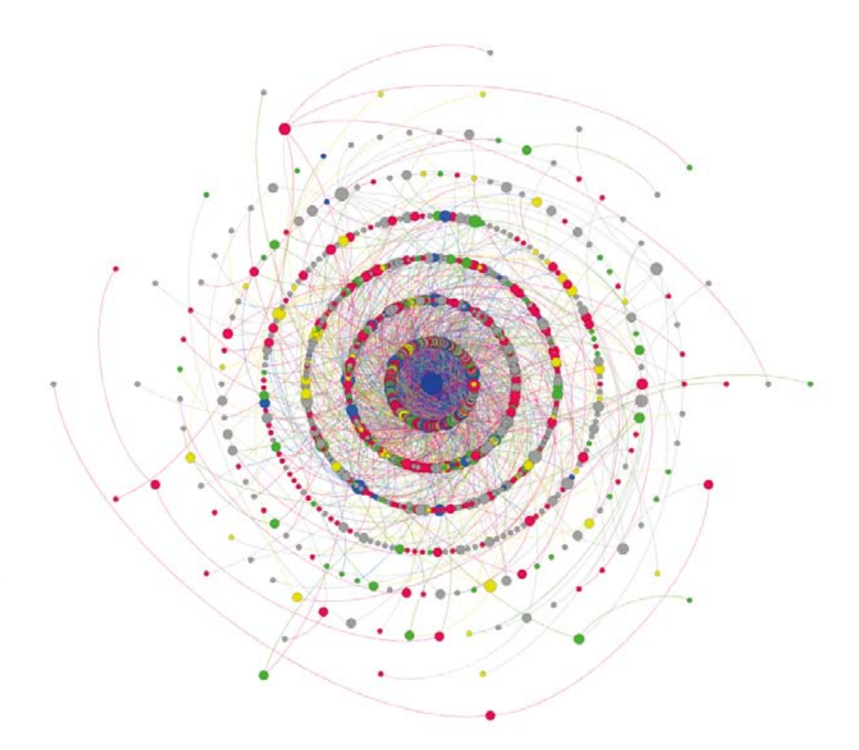
El gran volumen de datos disponibles ha posibilitado un análisis preciso del fenómeno. Los estudios demuestran que los contenidos se seleccionan por sesgo de confirmación, lo que deriva en la creación de comunidades homogéneas que tienden a retroalimentarse y a ignorar al resto.

Intentar desmontar las teorías conspirativas solo refuerza las opiniones de sus partidarios. Ello dificulta la difusión de información veraz y hace que resulte casi imposible frenar la expansión de contenidos falaces.

CADA UNO A LO SUYO

El argumento del Foro Económico Mundial para calificar la difusión masiva de información falsa como una de las amenazas más serias para la sociedad se basaba, principalmente, en el hecho de que, en Internet, el paradigma de producción y consumo de contenidos carece de intermediarios. Cualquiera puede publicar su propia versión y opinión sobre cualquier asunto, sin que después se verifique su fundamento o, al menos, su verosimilitud. Los contenidos disponibles son producto de los propios usuarios, y tanto la veracidad como la utilidad de la información se ajustan a las necesidades de otros internautas, que, a menudo, solo buscan una confirmación coherente de un sistema de creencias ya estructurado y consolidado. En Facebook, por ejemplo, proliferan las páginas sobre gigantescas conspiraciones a escala mundial: estelas químicas, señoreaje bancario, correlación entre vacunas y autismo, dieta frugívora o asombrosas teorías sobre fuentes infinitas de energía, astutamente escondidas por las grandes multinacionales en virtud de sus intereses financieros.

A pesar de la especulación positivista basada en la racionalidad del ser humano, el estudio cuantitativo de estos fenómenos ha disparado las alarmas en sentido contrario. En un contexto informativo no filtrado, las personas sucumben al sesgo de confirmación; es decir, toman todo aquello que les agrada y que se muestra conforme con sus propias creencias e ignoran el resto. Ello suscita la creación de excéntricos argumentos que parten de las ideas más disparatadas. El discurso frugívoro, por ejemplo, sostiene que nuestros ancestros no fueron omnívoros, sino que se alimentaban solo de frutas, a pesar de que las pruebas empíricas e incluso las pinturas rupestres revelan exactamente lo contrario. Igualmente cabe mencionar otras leyendas urbanas, como los microchips subcutáneos o los falsos alunizajes.



ALCANCE DE UNA NOTICIA IMPOSIBLE: En 2012, en Italia, una noticia explícitamente satírica sobre un político inexistente, el senador Cirenga, se difundió como verídica de forma masiva en las redes sociales. En este grafo, los nodos representan usuarios y las líneas indican entre quiénes se compartió. En el centro figura el origen de la información y, a su alrededor, los distintos niveles de difusión. Los colores indican la preferencia de los usuarios por un tipo específico de fuentes: periódicos y agencias de noticias (*amarillo*), movimientos políticos (*verde*) y fuentes «alternativas» (*rojo*). El esquema muestra también los «troles», o difusores de información deliberadamente falsa (*azul*).

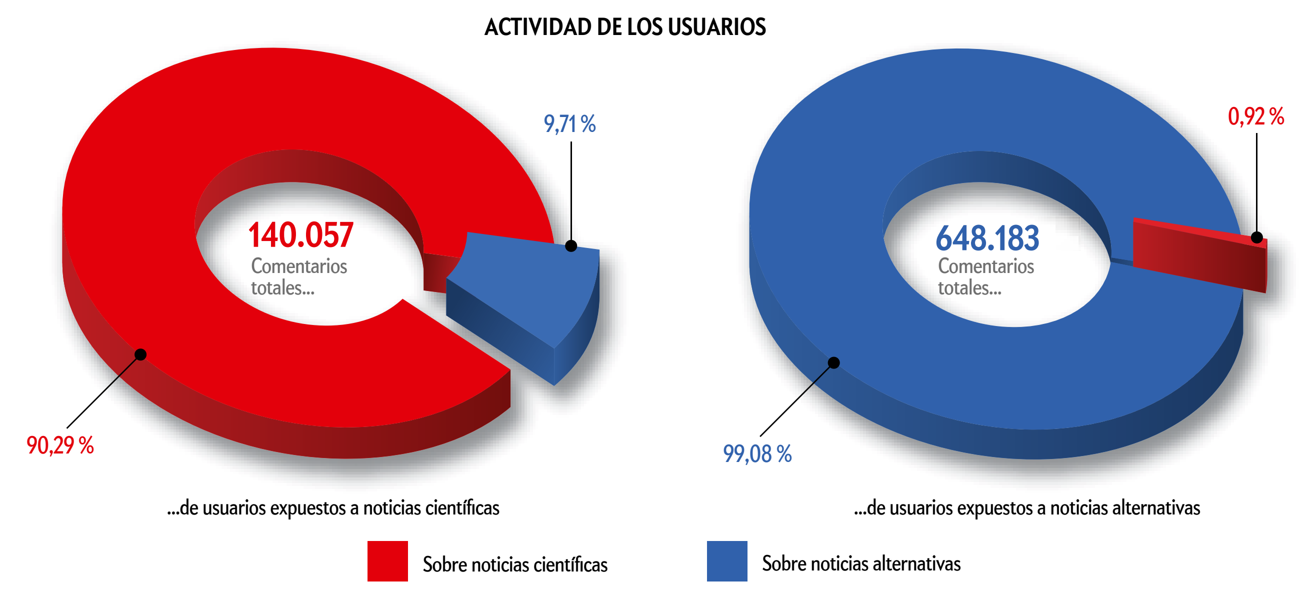
CORTESÍA DEL AUTOR

Un panorama semejante, sin apenas intermediarios y modelado por los gustos de las masas, puede generar fenómenos a gran escala que influyen considerablemente en la percepción pública de cuestiones tan importantes como la salud, la política económica y la geopolítica. Y que pueden desencadenar acontecimientos extraños. El año pasado, por ejemplo, un banal ejercicio militar en EE.UU. llamado Jade Helm 15 se convirtió en Internet en la prueba de un inminente golpe de Estado ordenado por el Gobierno de Barack Obama. La noticia alcanzó tal grado de credibilidad que el gobernador de Texas, Greg Abbott, decidió alertar a la Guardia Nacional. Y en 2013, en Italia, tuvo lugar la difusión masiva de una cita debida supuestamente al expresidente de la República Sandro Pertini, fallecido en 1990: «Cuando un Gobierno no hace lo que el pueblo quiere, hay que sacarlo aunque sea con martillos y piedras». Aunque la atribución fue desmentida más de una vez por la misma Fundación Pertini, la consigna se usó como símbolo para las protestas del llamado «Movimiento de las Horcas» y terminó incluyéndose en las convocatorias que llamaban a una gran manifestación nacional contra el Gobierno «corrupto».

Otro ejemplo interesante, también en Italia, fue el de un tal «senador Cirenga», mencionado en una entrada de Facebook que se difundió masivamente en diciembre de 2012. Según se contaba, Cirenga había creado un proyecto de ley que adjudicaba 134.000 millones de euros en ayudas para que los políticos encontrasen trabajo en caso de perder las elecciones, una propuesta que habría sido aprobada en el Senado con 257 votos a favor y 165 abstenciones. No solo la cifra suponía el 10 por ciento del PIB italiano, sino que el país no cuenta con tantos senadores y, por supuesto, el tal Cirenga tampoco existía. De hecho, la noticia de Facebook había sido concebida como una broma; tanto era así que en el texto que acompañaba a la imagen podía leerse: «La culpa es solo del pueblo borrego que lo ha votado, pero que, sobre todo, ha compartido esta inmensa estupidez falsa que solo unos crédulos como vosotros podrían considerar cierta». Hoy, el único rastro de la existencia del senador Cirenga es una página de Facebook que lo clasifica como «personaje ficticio». Con todo, aún sigue habiendo usuarios indignados que dejan en dicha página comentarios relativos a su propuesta.

VERDAD O MENTIRA: MISMA REPERCUSIÓN

En nuestro laboratorio de la Escuela de Estudios Avanzados sobre Instituciones, Mercados y Tecnología de Lucca, en Italia, estudiamos la dinámica del contagio social y el uso de contenidos en diversas redes sociales, como Facebook, Twitter y YouTube. Nuestro grupo de investigación está compuesto por dos físicos, Guido Caldarelli y Antonio Scala; un estadístico, Alessandro Bessi; una matemática, Michaela Del Vicario; y dos informáticos, Fabiana Zollo y el autor del presente artículo. Por un lado, analizamos la difusión masiva de la información; por



GRADOS DE ACTIVIDAD: Los usuarios que suelen comentar noticias «alternativas» (*derecha*) son más activos que aquellos que discuten sobre ciencia (*izquierda*). Los datos proceden de un análisis de la actividad de 1,2 millones de usuarios de Facebook durante un período de cinco años (2010-2014).

otro, la manera en que se forman y refuerzan las opiniones en un ciberespacio sin intermediarios, donde los contenidos se emiten y se consumen sin control alguno.

En el estudio «Atención colectiva en la era de la (des)información», publicado en 2015 en *Computers in Human Behaviour*, nos centramos en el consumo de tres tipos de información cualitativamente distintos en cuanto a su origen: la procedente de fuentes de información oficiales, la difundida por fuentes «alternativas» y la generada por movimientos políticos. Las primeras hacían referencia a periódicos y agencias centrados en la actualidad italiana. Las segundas englobaban fuentes que se autoproclamaban difusoras de todo aquello que la información manipulada esconde a los usuarios. La última categoría correspondía a movimientos y grupos políticos que empleaban Internet como instrumento de movilización.

El trabajo de censo, sobre todo en lo que respecta a las fuentes alternativas, fue largo y delicado. Para ello, reunimos y verificamos manualmente numerosas indicaciones de usuarios y de grupos de Facebook activos en el desenmascaramiento de noticias infundadas. Al final, de un total de 50 páginas de Facebook censadas, analizamos el comportamiento en línea de más de dos millones de usuarios italianos que interactuaron con sus contenidos durante un período de seis meses, desde septiembre de 2012 a febrero de 2013. Nuestros resultados demostraban que informaciones cualitativamente distintas presentaban características muy similares en términos de duración, número de usuarios activos y de la persistencia de estos. En otras palabras: las entradas de periódicos nacionales, de fuentes alternativas y las enfocadas a la discusión política reverberaban del mismo modo, sin diferencias sustanciales de uso. Por ejemplo, en todas las categorías, la atención media que recibía una entrada se situaba en 24 horas.

CONSPIRANOICOS MANIPULADOS

Entre las diversas formas de expresión que encontramos en Facebook, despiertan particular interés los llamados «troles», cuyos comentarios irreverentes y polémicos buscan generar conflicto. Desde hace un tiempo, debido a la heterogeneidad de grupos e intereses que invaden Internet, la figura del trol ha evolucionado hacia algo más articulado. Allí donde existe una dinámica social que va demasiado lejos o que se vuelve extremista en un aspecto concreto, aparece como contrapartida un trol que crea una parodia: páginas que imitan el comportamiento de quienes apoyan movimientos políticos reales, otras sobre ébola y gatitos, u otras que se burlan del veganismo extremo.

Entre los distintos objetos de mofa no faltan las teorías de la conspiración, con entradas que hablan sobre abolir las leyes de la termodinámica en el Parlamento o que sostienen que, a partir de un análisis reciente de la composición de las estelas químicas de los aviones, se ha descubierto en ellas la presencia de citrato de sildenafilo, el principio activo de Viagra. Tales contenidos sarcásticos y caricaturescos resultaron fundamentales en nuestro estudio, puesto que nos permitieron medir la competencia de los internautas para contrastar la información. Con la parodia como objetivo, tales páginas difunden información intencionadamente falsa, que vehicula datos y hechos paradójicos, lo que nos permitió cuantificar hasta qué punto resulta determinante el sesgo de confirmación en la elección del contenido.

Para verificar potenciales actitudes derivadas de la exposición continua a un tipo específico de información, dividimos a los usuarios en categorías según los temas que preferían. Para ello tuvimos en cuenta el porcentaje de «me gusta» a un tipo determinado de contenido y medimos su interacción con un conjunto de unas 5000 informaciones trol. No fue ninguna sorpresa descubrir que los seguidores habituales de fuentes alternativas tendían a clicar «me gusta» y a compartir información trol de la misma manera en que lo hacían con otro tipo de contenidos.

El resultado es particularmente interesante, ya que pone de manifiesto lo que más tarde denominamos la «paradoja del conspiranoico»: aquellos que dicen estar más atentos a la «manipulación» perpetrada por los medios de comunicación tienden a interaccionar más a menudo con fuentes de información intencionalmente falsa y, por tanto, son a su vez los más proclives a ser manipulados.

DANILO SOSSI, SEGÚN EL AUTOR

CAJAS DE RESONANCIA

El hecho de que informaciones muy distintas, fundadas o no, se consuman del mismo modo sugiere dos hipótesis: por un lado, que todos los contenidos son tratados indistintamente por todos los usuarios; por otro, que existen grupos de interés focalizados en contenidos específicos, pero cuyo comportamiento es universal con respecto al tipo de información y narrativa elegidos. Esta última hipótesis es la más fascinante, ya que replantea el concepto de sesgo de confirmación y la idea de que Internet, habiendo facilitado la interconexión entre personas y el acceso a los contenidos, ha catalizado la formación de cajas de resonancia: comunidades con intereses comunes que seleccionan información, discuten y refuerzan sus propias creencias en torno a una visión compartida del mundo.

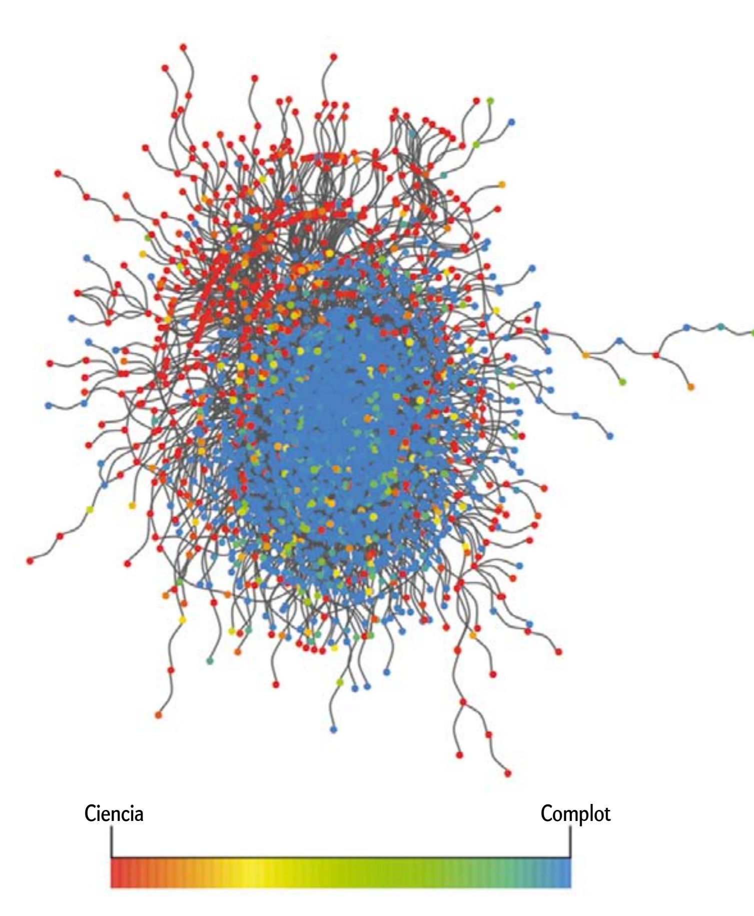
Así pues, una segunda fase de nuestro trabajo consistió en comparar el comportamiento de los usuarios que consultan fuentes de información científica y el de aquellos que se decantan por las fuentes alternativas de cariz conspirativo. Las diferencias entre ellas son varias. En primer lugar, una y otra se distinguen en la existencia de, al menos, un emisor o un responsable claro del mensaje. La información científica hace referencia a estudios publicados generalmente en revistas técnicas, y cuyos autores, instituciones, etcétera, son conocidos. Por el contrario, en la narrativa conspirativa, la información se formula de modo que contenga la incertidumbre que luego genera, con noticias que remiten a algún plano secreto y deliberadamente oculto a la opinión pública.

Otra diferencia fundamental reside en que, con independencia de la veracidad del contenido expuesto en ambos tipos de fuentes, la información científica y la conspirativa representan dos polos opuestos desde el punto de vista del discurso. La primera se basa en un paradigma racional que, casi siempre, busca pruebas empíricas. La segunda —retomando la definición de Cass Sunstein, jurista de Harvard y autor de varios libros fundamentales sobre la dinámica social de la conspiración, y que a su vez se retrotrae a Karl Popper— se apoya en un conjunto de creencias que llevan a atribuir los eventos a un motor intencional. El pensamiento conspirativo se caracteriza por la incapacidad de asignar a los hechos adversos un determinante casual (fuerzas de mercado, presión evolutiva, complejidad), lo que, según Martin Bauer, psicólogo social de la Escuela de Economía de Londres y experto en dinámicas conspirativas, implica un modo «casi religioso» de pensar en los procesos. En los albores de la humanidad se atribuía a las tempestades una naturaleza divina; hoy sucede algo similar ante fenómenos intrincados como la globalización o el cambio tecnológico.

Tras interaccionar con distintos grupos en línea activos en desmentir informaciones falsas con las herramientas del método científico, seleccionamos un conjunto de 73 páginas de Facebook para someterlas a estudio: 39 de corte conspirativo y 34 de



OBJETIVO PREDILECTO: Las vacunas constituyen uno de los blancos favoritos de las teorías de la conspiración, según las cuales serían innecesarias e incluso perjudiciales, una afirmación carente de fundamento científico.



POLARIZACIÓN: A pesar de ofrecer cantidades ingentes de información y de proporcionar los medios para contrastarla, Internet ha generado comunidades digitales estancadas que solo se retroalimentan a sí mismas. A partir de un análisis del comportamiento de los usuarios que suelen seguir fuentes de información científicas y el de aquellos que se decantan por las teorías conspirativas, los autores han reconstruido sus redes de amistades digitales y han constatado que estas constituyen verdaderas cajas de resonancia que solo se retroalimentan entre sí. Este esquema ilustra los nexos entre consumidores de información científica (*nodos rojos*) y entre quienes frecuentan contenidos de carácter conspirativo (*azul*).

carácter científico. En ellas, analizamos el comportamiento de más de un millón de usuarios durante un período de cinco años, entre 2010 y 2014. Nuestro trabajo, publicado en *PLOS ONE* y titulado «Ciencia frente a conspiración: Narrativas colectivas en la era de la desinformación», halló que, en Italia, los usuarios de Facebook que siguen fuentes de cariz conspirativo triplican a los que visitan con asiduidad fuentes científicas. Además, ambos grupos muestran un alto grado de focalización: los usuarios se congregan en torno a narrativas específicas y raramente salen de sus correspondientes cajas de resonancia. La información verificada y la no verificada se usan del mismo modo, y una y otra se excluyen mutuamente.

Esta característica de la interacción social en Facebook parece desempeñar una función clave en la difusión de rumores falsos. El análisis de 4709 contenidos diseñados para parodiar teorías conspirativas, con fragmentos claramente absurdos (como la presencia de Viagra en las estelas químicas de los aviones), demuestra que los usuarios más proclives a interaccionar con este tipo de contenido (en concreto, un 80 por ciento) son aquellos que consumen principalmente información de corte conspirativo sin verificar. Además, los usuarios centrados en la información conspirativa son más activos a la hora de difundir tales contenidos y de compartirlos con sus amistades.

Llegados a este punto, nos preguntamos si esa acusada polarización de los seguidores de fuentes conspirativas y científicas se reflejaría también en sus amistades virtuales. Al examinar las cajas de resonancia y reconstruir la red social de ambos grupos, descubrimos una sorprendente regularidad estadística: cuanto mayor es el número de «me gusta» a un tipo específico de narrativa, se observa un aumento lineal en la probabilidad de formar parte de una red social virtual compuesta exclusivamente por usuarios con el mismo perfil. En otras palabras, cuanto más expuesto se está a un tipo concreto de discurso, más posibilidades hay de que todos los amigos de Facebook muestren la misma actitud ante el consumo de información.

Las implicaciones de una división de la red social en grupos homogéneos según el tipo de información consumida revisten particular interés para entender la difusión masiva de contenidos. Ambos grupos tienden a excluir todo aquello que no resulta coherente con su sistema de creencias, lo que da lugar a una estructura que facilita el refuerzo y a una selección de los contenidos guiada por el sesgo de confirmación.

TRIBUS POLARIZADAS

A partir de esta última observación, otro aspecto de nuestra investigación consistió en analizar la efectividad de las campañas destinadas a desarticular contenidos falsos. En un trabajo titulado «Determinantes sociales en la era de la (des)información», publicado en las actas de un congreso sobre informática social celebrado en 2014, comparamos la reacción de aquellos consumidores de información conspirativa que habían estado expuestos a campañas de desarticulación y la de aquellos que no. En concreto, medimos la persistencia de ambos grupos; es decir, la probabilidad de que sus miembros continuasen clicando «me gusta» a un tipo determinado de contenidos. Hallamos que, en quienes habían accedido a información destinada a desmentir teorías falsas, la probabilidad de seguir interactuando con fuentes conspirativas era un 30 por ciento mayor que en el segundo grupo. En otras palabras: tratar de convencer a un partidario de la teoría de las estelas químicas de que esta es falsa redunda en un refuerzo de sus creencias, lo que se manifiesta en una mayor interacción con fuentes de información errónea.

En nuestro grupo también hemos estudiado el uso de Facebook en Estados Unidos. Tras analizar el comportamiento de 55 millones de internautas, obtuvimos resultados esencialmente idénticos: los usuarios están polarizados, se informan y forman su opinión según un proceso cognitivo que evita el conflicto, apoyando las narrativas que respaldan sus propias creencias. El principal motor de la difusión de contenidos parece ser la homofilia: la tendencia a compartir información de usuarios que presentan un perfil similar al propio. Este último resultado, publicado en enero de 2016 en *Proceedings of the National Academy of Sciences* con el título «La difusión en línea de la desinformación», es interesante por cuanto nos ha permitido crear modelos predictivos que, basados en la mecánica de la percolación de fluidos, permiten calcular con buena aproximación la dimensión de algunos fenómenos de difusión masiva de contenidos.



En otro trabajo, «Dinámica emocional en la era de la desinformación», publicado en septiembre de 2015 en *PLOS ONE*, analizamos el mismo conjunto de datos sobre fuentes de información conspirativas y científicas mediante técnicas de «análisis de emociones»: algoritmos que, con un debido entrenamiento, infieren con buena aproximación los sentimientos expresados por los usuarios en sus comentarios. Observamos que, cuanto más larga resulta una discusión, más se encamina esta hacia sentimientos negativos. Este resultado es válido tanto para quienes consumen fuentes conspirativas como para quienes consultan fuentes científicas, si bien los primeros parecen presentar una tendencia más marcada hacia las emociones perniciosas. En todo caso, una discusión prolongada en torno a una entrada parece acabar degenerando en la expresión de más y más sentimientos negativos a medida que avanza la conversación.

DENTRO DE LA CAJA

Hasta ahora nos hemos centrado en el comportamiento de estas cajas de resonancia observándolas desde fuera. Ello nos ha permitido comprobar que los contenidos se seleccionan por sesgo de confirmación, mientras que la información de otro tipo se ignora o se trata desde un punto de vista antagónico. Sin embargo, los miembros de una comunidad que se congregan en torno a un tema específico y que comparten un discurso, como el conspirativo, tienden a confrontarse entre sí para hallar explicaciones a aquellos fenómenos que consideran interesantes. ¿Cómo opera dicho proceso?

Varios estudios sobre la dinámica del pensamiento conspirativo sugieren que este se basa en un discurso variado que, a menudo, tiende a identificar el miedo hacia lo desconocido o, desde una perspectiva más general, a provocar sentimientos de ansia y paranoia hacia objetos y cuestiones concretas. Una sociedad abierta y globalizada intentará entender los asuntos complejos que la afectan, ya se trate de la multiculturalidad, los vericuetos del circuito financiero mundial o los avances tecnológicos. Sin embargo, la dificultad que entrañan tales fenómenos hace que, en ocasiones, las personas prefieran, con independencia de su nivel de estudios, aferrarse a una explicación más compacta y que identifique con claridad un culpable: el calentamiento global es causado por las estelas químicas, o los inconvenientes de la globalización son debidos a los planes secretos de los reptilianos. Al analizar la dinámica interna de estos procesos, observamos que los usuarios tienden a abrazar tesis más variopintas cuanto mayor es su actividad en línea.

En el caso del corpus conspirativo italiano, lo hemos analizado mediante técnicas de «extracción automática de temas»: algoritmos informáticos que, a partir de un análisis de los textos, permiten reagrupar contenidos en línea según el asunto tratado. En este caso, hemos comprobado que las distintas cuestiones pueden dividirse en cuatro materias principales: dieta, medioambiente, salud y geopolítica. El resultado concuerda en buena medida con el de otros países. En particular, los mismos temas están también presentes en EE.UU., si bien en este caso hay que añadir una fuerte atención al fenómeno ovni y a los extraterrestres.

En el artículo «Tendencias narrativas en la era de la desinformación», publicado en *PLOS ONE*, demostramos que el consumo de entradas asociadas a dichos temas se encuentra fuertemente autocorrelacionado: a medida que aumenta la actividad de los usuarios, estos tienden a abrazar indistintamente todo el corpus conspirativo, con independencia del tema concreto. Así pues, una vez dentro de la caja, los usuarios son proclives a absorber todos los contenidos.

¿EL FIN DE LA ERA DE LA INFORMACIÓN?

Las dinámicas sociales observadas en nuestros estudios muestran con claridad el problema relativo a la aparición en las redes sociales de discursos relacionados con hechos y fenómenos falsos. Los contenidos se seleccionan por sesgo de confirmación; eso conlleva la creación de grupos uniformes en torno a temas y discursos específicos, los cuales tienden a reforzarse entre sí al tiempo que ignoran el resto. Y, en la mayoría de los casos, las discusiones degeneran en un conflicto entre extremistas de uno u otro punto de vista, lo que favorece la polarización. La situación dificulta poder informar correctamente, hasta el punto de que poner freno a una noticia infundada se ha convertido en misión imposible. El año pasado, la broma del senador Cirenga fue republicada en Twitter por un autor notable como gesto de indignación.

El problema de la desinformación en las redes sociales se encuentra tan extendido que Facebook ha introducido una opción para que los usuarios indiquen informaciones falsas. Por su parte, Google está estudiando un método para considerar la fiabilidad de las páginas a la hora de clasificar los resultados que muestra al usuario. En todo caso, nuestros estudios plantean serias dudas sobre la eficacia de las soluciones algorítmicas que están aplicando los grandes colosos de Internet.

Todo parece indicar que, durante mucho tiempo, seguiremos animando nuestras cenas con acaloradas discusiones sobre la última conspiración planetaria urdida por los reptilianos o con interesantes disquisiciones sobre los efectos de la nueva dieta a base de agua, grava y vieiras que circula por Internet. Lo fundamental es difundir aquello que se nos ha mantenido oculto, sin importar que sea cierto o no. ¿Tal vez ha llegado el momento de cambiar la etiqueta de «era de la información» por la de «era de la credulidad»? IyC

PARA SABER MÁS

Global risks report 2013. World Economic Forum, 2013. Disponible en **reports.weforum.org/global-risks-2013**

Social determinants of content selection in the age of (mis)information. Alessandro Bessi et al. en *Social Informatics*, págs. 259-268. Springer, 2014.

Science vs. conspiracy: Collective narratives in the age of misinformation. Alessandro Bessi et al. en *PLoS ONE*, vol. 10, n.º 2, e0118093, febrero de 2015.

Trend of narratives in the age of misinformation. Alessandro Bessi et al. En *PLoS ONE*, vol. 10, n.º 8, e0134641, agosto de 2015.

Emotional dynamics in the age of misinformation. Fabiana Zollo et al. en *PLoS ONE*, vol. 10, n.º 9, e0138740, septiembre de 2015.

Collective attention in the age of (mis)information. Delia Mocanu et al. en *Computers in Human Behavior*, vol. 51, parte B, págs. 1198-1204, octubre de 2015.

The spreading of misinformation online. Michaela Del Vicario et al. en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, n.º 3, págs. 554-559, enero de 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

Obsesión conspirativa. Thomas Grüter en *MyC* n.º 11, 2005.

¿Sabemos leer en la Red? Daniel Cassany en *IyC*, enero de 2013.

El primate interconectado. Entrevista con Sherry Turkle; Mark Fischetti en *IyC*, noviembre de 2014.

¿Democracia digital o control del comportamiento? Dirk Helbing et al. en *IyC*, abril de 2016.

por Jean-Michel Courty y Édouard Kierlik



Jean-Michel Courty y **Édouard Kierlik** son profesores de física en la Universidad Pierre y Marie Curie de París.

El sol calienta... y también enfría

Las corrientes de convección permiten fabricar calentadores de agua domésticos carentes de bomba, así como refrescar una vivienda en verano

¿Cómo disfrutar de agua caliente en una vivienda prescindiendo de la electricidad? En general, caldear el agua con captadores solares no bastará, ya que siempre habremos de asegurar el movimiento del líquido para introducir agua fría en el interior de la instalación y dirigir el agua caliente hacia el depósito donde se guardará hasta que se use.

Existe, sin embargo, una solución: el termosifón, un recipiente en el que el líquido circula por sí solo debido a la diferencia de densidad entre el agua fría y la caliente; es decir, gracias a las corrientes de convección. Es más, si adaptamos este principio a la circulación del aire, podremos aprovechar el calor del sol para enfriar una casa en pleno verano.

La convección a modo de motor

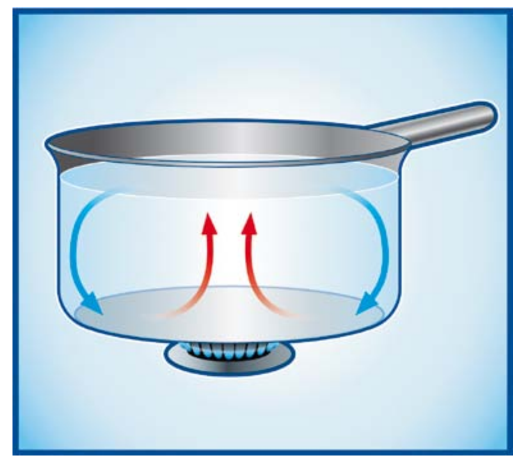
¿Cómo funcionan esos dispositivos que no necesitan bombas? Comencemos por repasar el concepto de convección. Cuando ponemos al fuego una cacerola llena de agua, el líquido se pone en movimiento mucho antes de que rompa a hervir. Dicho flujo obedece a las diferencias de temperatura en el seno del líquido, las cuales crean, a su vez, diferencias de densidad.

La masa de un litro de agua es de un kilogramo a 4 grados Celsius y a presión atmosférica. Sin embargo, no ocurre así a otra temperatura. Cuanto mayor es esta, más se agitan las moléculas de agua, lo que rompe los enlaces intermoleculares que prestan cohesión al líquido. Como consecuencia, el agua se dilata y la masa de un litro disminuye. A 20 °C, esa disminución es mínima, poco menos de 2 gramos. Pero, a 50 °C, la diferencia llega a los 12 gramos, y a 100 °C asciende a 42. Así pues, la masa de un litro de agua se reduce hasta los 958 gramos, un cambio más que notable.

En el caso de la cacerola, el agua situada justo encima del fogón se calienta más rápido que la cercana a las paredes del recipiente. La columna central de agua es, por tanto, menos densa que sus alrededores, por lo que ejerce una presión menor sobre el fondo de la cacerola. Esa diferencia de presión provoca un movimiento en el seno del fluido: en el centro, el agua, más caliente y menos densa, sube hacia la superficie, donde se enfría por contacto con el aire ambiente. Y, una vez enfriada y más densa, vuelve de la periferia al fondo, donde se calienta de nuevo. Se trata de un proceso análogo al que tiene lugar en los océanos, la circulación termohalina, si bien este resulta mucho más complejo debido a que la salinidad también influye en la densidad del agua de mar.

El mismo fenómeno que acabamos de describir permite hacer circular el agua en un calentador solar sin bomba. Una parte del circuito la componen los captadores solares con agua caliente: un conjunto de tubos pintados de negro e instalados en una caja plana de fondo también negro y tapa de vidrio. Esta disposición permite absorber gran parte de la luz solar y optimizar así el rendimiento térmico.

Por su parte, en otro recipiente se encuentra el agua aún no caldeada, en espera de dirigirse a los captadores. Debido a la diferencia de temperatura, se origina en el sistema una circulación natural. Sin embargo, hay una diferencia con respecto a la cacerola: en esta, el flujo es libre y se desarrolla a pequeña escala, en una distancia de pocos centímetros. En un calentador, en cambio, la diferencia de presión causada por los cambios de densidad entre el agua caliente y la fría debe compensar la «pérdida de carga»; es decir, la disminución de la presión a lo largo del flujo, la cual resulta de la resistencia de un líquido viscoso a fluir por un tubo de gran longitud.



EN UNA CACEROLA puesta al fuego, el agua de la columna central (*rojo*) se calienta más rápido que la periférica (*azul*). Debido a su menor densidad, el agua caldeada asciende, después se enfría al entrar en contacto con el aire y vuelve a hundirse. Como consecuencia, se generan bucles de convección.

BRUNO VACARO

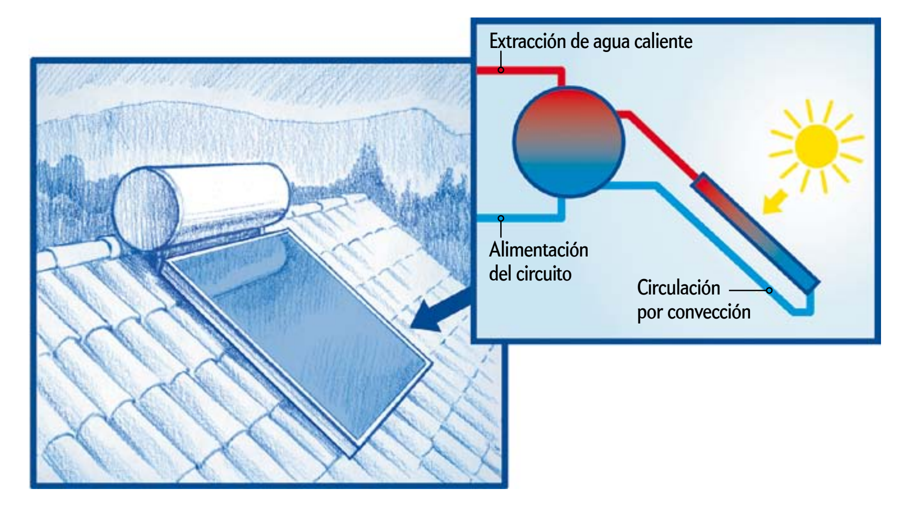
Compensar la pérdida de carga

Cuando el flujo no es turbulento, la pérdida de carga se rige por la llamada ley de Poiseuille. Esta dicta que la bajada de presión es directamente proporcional al producto del caudal por la longitud del tubo, e inversamente proporcional a la cuarta potencia del diámetro.

Para verificar la viabilidad de un dispositivo típico, comparemos la diferencia de presión entre la base de una columna de agua a 20 °C y la de una columna idéntica a 50 °C, temperatura fácilmente alcanzable en un calentador solar doméstico. En este caso el cambio en densidad asciende a unos 10 gramos por litro. Por tanto, para una columna de un metro de altura, la diferencia de pre-

el diseño, las dimensiones y la puesta a punto del dispositivo exigirán una gran pericia, ya que el margen de maniobra es estrecho.

Hay, sin embargo, un precio que habremos de pagar. Dado que el agua caliente asciende, el depósito deberá situarse por encima de los captadores solares y no por debajo de ellos, como tal vez nos gustaría si estos se encuentran en el tejado de una casa. Por ello, los calentadores solares de termosifón se reconocen por su depósito instalado en el vértice de la techumbre.



EN UN CALENTADOR de agua solar, el agua fría (*azul*) se calienta en el interior de un panel que absorbe la radiación solar. Al ganar temperatura y, como consecuencia, ver reducida su densidad, el agua caliente (*rojo*) sube y crea una corriente que la lleva al depósito, situado por encima del panel.

sión hidrostática será de unos 100 pascales (una milésima de atmósfera).

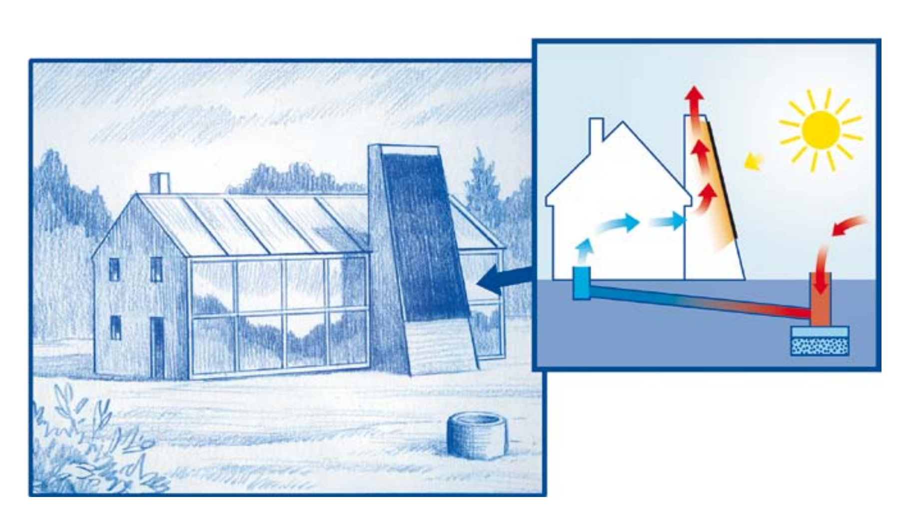
Para calcular la pérdida de carga habremos de estimar el caudal de la instalación. Llegar a los 50 °C en el calentador supone un aumento de 30 °C con respecto a la temperatura ambiente. Por un lado, sabemos que hacen falta 4 kilojulios para elevar un grado la temperatura de un litro de agua. Por otro, la potencia lumínica del sol es del orden de un kilovatio por metro cuadrado. Si suponemos que toda esa potencia se convierte en calor, con un captador de dos metros cuadrados necesitaremos aproximadamente un minuto para calentar un litro de agua. Así pues, con un caudal de un litro por minuto en unos tubos con un diámetro interior del orden del centímetro, tendremos una pérdida de carga de unos 70 pascales por metro de tubo.

En el ejemplo anterior, la diferencia de presión hidrostática entre el agua caliente y la fría ascendía a unos 100 pascales por metro vertical. Eso significa que, en orden de magnitud, y siempre que empleemos tubos no demasiado estrechos, la convección térmica bastará para hacer circular el agua en un sistema como este. Nuestros cálculos también indican que

Chimeneas refrescantes

El principio del termosifón permite también prescindir de la climatización eléctrica y refrigerar el interior de una casa. En este caso, lo que se aprovecha son las diferencias de densidad entre el aire caliente y el frío. Dado que la densidad del aire es unas mil veces menor que la del agua, el efecto del calentamiento reviste mucha más importancia: un incremento de 30 °C disminuye en un 10 por ciento la densidad del aire (y no en un 1 por ciento, como en el caso del agua).

Para aprovechar esa diferencia de densidad puede construirse una «chimenea» con su fachada expuesta al sol pintada de negro, lo que caldeará el aire en una altura de varios metros. Si este se calienta a 60 °C en una altura de 5 metros, la diferencia de presión hidrostática será de unos 10 pascales. No mucho: en torno a una décima parte de la depresión característica asociada a la ventilación mecánica que crea la circulación rápida del aire en los conductos de ventilación. Con todo, el método puede funcionar si hacemos circular aire por el subsuelo para enfriar previamente el aire ambiente, empleando para ello conductos de gran diámetro o los grandes espacios de una casa, y siempre que evitemos las pérdidas o cualquier efecto parásito. IyC



EL EFECTO DE TERMOSIFÓN puede emplearse para refrigerar una casa. El aire contenido en la «chimenea» se calienta gracias a la absorción térmica que tiene lugar a través de la fachada. La diferencia de temperatura entre ese aire y el enfriado bajo tierra genera una circulación que evacúa el aire caliente y hace que penetre aire fresco en las estancias de la vivienda.

BRUNO VACARO

PARA SABER MÁS

Solar thermal collectors and applications. S. A. Kalogirou en *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, n.º 3, págs. 231-295, 2004.

EN NUESTRO ARCHIVO

Energía, casi, gratuita. Marc Boada en *IyC*, febrero de 2012.

por Alejandro Pérez Carballo

Alejandro Pérez Carballo es profesor de filosofía en la Universidad de Massachusetts en Amherst.



Razonamientos impecables, decisiones equivocadas

¿Son compatibles la aversión al riesgo y la preferencia por dejar atrás lo malo?

Acaba de regresar de vacaciones. Como cada verano, lo ha pasado estupendamente: descansó, comió bien y se divirtió. Mañana, sin embargo, ha de ir al quirófano. La operación no tiene riesgo, pero sabe que el posoperatorio será bastante doloroso. Simplemente pensar en lo que se avecina le llena de angustia.

Tal es su desesperación que se despierta bruscamente: son las tres de la mañana. Todo fue un mal sueño; la operación ya pasó. El posoperatorio fue doloroso, pero por fortuna ya quedó atrás. Mañana se marcha de vacaciones. Como siempre, sabe que lo pasará estupendamente. Descansará, comerá bien y se divertirá.

«¡Qué alivio!», se dice. «Suerte que la operación ya tuvo lugar y que me esperan unas felices vacaciones.» Desde luego, hubiese sido mucho peor si las vacaciones estuviesen en el pasado y su operación en el futuro.

Mejor ayer que mañana

Tal vez esta pequeña historia le parezca extraña. Quizás a usted le fuese indiferente que la operación tuviese lugar mañana y que las vacaciones quedasen atrás, o que ocurriese justo al revés. Después de todo, podría decir, en ambos casos sufrirá el dolor del posoperatorio y disfrutará de unas lindas vacaciones.

Sin embargo, la mayoría de nosotros no somos así. Nos llenaría de ansiedad saber que el posoperatorio está por llegar y sentiríamos un gran alivio al descubrir que ya concluyó.

En general, las personas solemos mostrar preferencias sesgadas hacia el futuro: preferimos que las experiencias placenteras nos aguarden en el porvenir a haberlas vivido ya, y preferimos que las situaciones negativas sean cosa del pasado a tener que sufrirlas en el futuro. Por eso, a algunos nos entristece regresar de un buen viaje. Y, de igual modo, sentimos alivio al dejar atrás una tarea desagradable.

Lo anterior no quiere decir, por supuesto, que nos resulte indiferente haber tenido experiencias dolorosas en el pasado o no. Cualquier persona sensata prefiere una vida sin posoperatorios dolorosos, pasados o futuros. Simplemente, dada la posibilidad de elegir entre haber vivido una experiencia dolorosa ayer y saber que tendrá lugar mañana, la mayoría preferiríamos haberla concluido ayer.

Si aún no se encuentra convencido, considere la siguiente posibilidad. El lunes le dicen que, o bien tendrá que pasar por una operación de dos horas sin anestesia el martes, o bien será sometido a una operación de una hora sin anestesia el jueves. Ambos tratamientos implican, sin embargo, un pequeño efecto secundario: una amnesia transitoria que, el día después, le impedirá recordar si la operación tuvo lugar el día anterior o no.

Una mañana, al despertarse, se percata de que es miércoles. En ese momento no recuerda haber pasado por el quirófano el día anterior. ¿Preferiría averiguar que la operación de dos horas fue ayer, o descubrir que la operación de una hora, menos dolorosa, ocurrirá mañana? Si se decanta por la primera opción, entonces sus preferencias están sesgadas hacia el futuro.

De cualquier modo, y aun si este no es su caso y sus preferencias no están sesgadas hacia el futuro, debería reconocer que tales preferencias son perfectamente razonables. O, al menos, eso parece.

Aversión al riesgo

Supongamos que usted es uno de tantos que contrata pólizas de seguro. Tal vez sea de aquellos que, por ejemplo, preferirían recibir 49 euros pase lo que pase, antes que pagar 100 euros por participar en una apuesta que ofrece 200 con una probabilidad del 50 por ciento (es decir, una apuesta cuya ganancia esperada es de 50 euros, una cantidad mayor de lo que recibiría en el primer caso). De ser así, entonces probablemente tenga usted cierta aversión al riesgo: prefiere pagar algo de dinero para evitar que las posibles consecuencias negativas sean mucho peores que las positivas.

Generalizando el caso anterior, habrá una cantidad x tal que, si le diesen a escoger entre recibir $(50 - x)$ euros pase lo que pase, y pagar 100 por participar en una apuesta que otorga 200 euros la mitad de las veces, escogerá la primera opción. Y, si su aversión al riesgo es grande, habrá una cantidad de dinero y tal que preferirá una apuesta que cueste $(100 - y)$ euros y pague $(200 - 2y)$ la mitad de las veces, a una que cueste 100 y pague 200. Por ejemplo, tal vez se decida por una apuesta que cueste 80 euros y otorgue 160 euros con una probabilidad del 50 por ciento (lo que implica una ganancia esperada de 40 euros) antes que por una que cueste 100 y ofrezca 200 con la misma probabilidad.

De manera más general, consideremos apuestas con dos resultados posibles, A y B, cada uno de ellos con una probabilidad del 50 por ciento. Tales resultados pueden ser ganar 100 euros, perder 20, obtener un coche nuevo... Diremos que A es el resultado bueno si y solo si usted prefiere A a B.

Si tiene aversión al riesgo y ha de elegir entre dos apuestas, preferirá una cuyo resultado bueno, A_1, sea un poco peor que el resultado bueno de la otra, A_2, siempre que eso le permita mejorar el resultado malo; es decir, siempre que B_1 sea mejor que B_2. Si los resultados corresponden a cantidades de dinero, la aversión al riesgo se manifiesta cuando aceptamos reducir la ganancia esperada si eso nos permite disminuir la diferencia entre el resultado bueno y el malo.

Por supuesto, el mismo fenómeno se da en situaciones en las que no interviene el dinero. Supongamos que el resultado bue-

no consiste en una hora de dolor y el malo en dos horas de sufrimiento (tal vez ha de someterse a una operación y, debido a una escasez de recursos en el hospital, no todos los pacientes pueden recibir la anestesia de mejor calidad). El dolor esperado de semejante «apuesta» es de una hora y media. Su aversión al riesgo podría manifestarse en una preferencia por aumentar la cantidad de dolor esperado —tal vez en diez minutos— a fin de garantizar que la diferencia entre el resultado bueno y el malo sea menor.

Por supuesto, no todos somos así. Hay personas que buscan con frecuencia situaciones arriesgadas. Pero, sin importar cuál sea su actitud al respecto, debería reconocer que es perfectamente razonable tener aversión al riesgo. O al menos, eso parece.

Un mal negocio

Si sus preferencias están sesgadas hacia el futuro y además tiene aversión al riesgo, tengo malas noticias para usted. Si actúa de manera perfectamente acorde con sus preferencias, puede ser víctima de un negocio pésimo: una serie de ofertas que, ocurra lo que ocurra, le llevarán a un aumento neto de las consecuencias negativas. Las ofertas son algo enrevesadas, por lo que merece la pena proceder despacio.



SESGO HACIA EL FUTURO: Todos tenemos que pasar por experiencias desagradables en nuestra vida. La mayoría preferimos que estas hayan quedado atrás a saber que nos aguardan en el futuro.

Supongamos que, el lunes, le dicen que padece una enfermedad que requiere intervención médica inmediata. Al respecto, existen dos posibilidades: una operación en dos etapas, la cual implica 4 horas de dolor el martes y una hora de dolor el jueves; y una operación única, que solo le supondrá 3 horas de dolor el jueves. En ambos casos, el tratamiento le provocará una amnesia temporal que hará que, al despertarse el día siguiente, no pueda recordar si el día anterior fue operado o no.

Si usted pudiese elegir a qué intervención someterse, no dudaría en escoger la consistente en una sola operación. Por desgracia, eso no es posible: hay numerosas personas que necesitan el mismo tratamiento, por lo que el hospital ha decidido recurrir a un sorteo en el que cada paciente cuenta con una probabilidad del 50 por ciento de ser sometido a la intervención en una o dos etapas.

No obstante, sabiendo que usted tiene aversión al riesgo, el cirujano le ofrece una pastilla —supongamos que de color rojo—, la cual tiene el siguiente efecto: como consecuencia de su interacción con los fármacos que le administrarán durante el tratamiento, si la toma el lunes y le someten a la operación en dos etapas, reducirá el dolor de la operación del jueves en 29 minutos (de modo que el dolor de dicha operación pasará de durar una hora a durar 31 minutos); y, si la toma el lunes y le someten a la operación en una etapa, le ocasionará 31 minutos adicionales de dolor en la operación del jueves (con lo que el sufrimiento pasará de 3 horas a 3 horas y 31 minutos).

Tomar la pastilla roja añadirá un minuto al número esperado de minutos de dolor. Sin embargo, también restará 60 minutos de dolor a la diferencia entre el caso favorable (la operación en una etapa) y el desfavorable (la operación en dos). Si es usted una persona con aversión al riesgo, tomará con gusto la pastilla roja.

El miércoles se levanta y, al descubrir qué día de la semana es, se pregunta a cuál de los dos tratamientos le habrán sometido. Sin embargo, recuerda haber tomado la pastilla roja el lunes. Por tanto, sabe que el jueves le esperan, o bien 31 minutos de dolor (lo que implicaría que ayer tuvo que pasar 4 horas de sufrimiento), o bien 3 horas y 31 minutos de dolor (en cuyo caso no le habrían operado ayer). No obstante, dado que sus preferencias están sesgadas hacia el futuro, ahora el resultado bueno es el de la operación en dos etapas, pues si bien el número total de minutos de dolor es mayor, el tiempo de dolor que le aguarda es menor.

Dado que tiene aversión al riesgo, ahora estaría dispuesto a tomar una pastilla que, sin afectar al número esperado de minutos de dolor, disminuyese la diferencia entre ambos resultados. Por fortuna, el cirujano le ofrece una pastilla azul que provoca el efecto deseado: si le han sometido a la operación en dos etapas, el nuevo medicamento añadirá 30 minutos a la intervención del jueves (que pasará de 31 minutos a una hora y un minuto); y, si le han asignado la operación en una etapa, la pastilla restará 30 minutos a dicha intervención (que pasará de 3 horas y 31 minutos a 3 horas y un minuto). Así pues, tomar la pastilla azul reducirá en 60 minutos la diferencia entre el tiempo de dolor que implican el buen resultado y el malo, y todo ello sin afectar al número esperado de minutos de dolor. Dada su

aversión al riesgo, usted aceptará de buen grado la pastilla azul.

El problema es que, al tomar ambas pastillas, el número total de minutos de dolor habrá aumentado pase lo que pase. Para ver por qué, supongamos primero que le han sometido a la operación en dos etapas. La pastilla roja quitó 29 minutos de dolor a la operación del jueves, mientras que la azul añadió 30. Por tanto, el efecto neto de los dos medicamentos es un minuto adicional de dolor.

Imaginemos ahora que le han asignado la operación en una etapa. La pastilla roja añadió 31 minutos de dolor a la operación del jueves y la azul eliminó 30. Una vez más, el efecto neto habrá consistido en un minuto más de dolor.

¿Dónde está el error?

Supongamos que es perfectamente razonable tener aversión al riesgo. Y admitamos también que es perfectamente razonable tener preferencias sesgadas hacia el futuro. En tal caso, parece que acabará aceptando una serie de tratos que, desde su punto de vista, no puede rechazar. Sin embargo, al final del día, todo terminará peor de como empezó.

Imagine de nuevo que es lunes. Usted sabe cuáles son los dos tratamientos posibles. Sabe también que le van a ofrecer la pastilla roja el lunes y la azul el miércoles, y sabe qué efecto tendrá cada una dependiendo de cuál sea la operación a la que le sometan. Su razonamiento es el siguiente: o bien el miércoles tomará la pastilla azul, o bien no la tomará. En cualquier caso, tomar la pastilla roja el lunes disminuirá en 60 minutos la diferencia entre el buen resultado y el malo, y ello a costa de añadir solo un minuto al número esperado de minutos de dolor. Dada su aversión al riesgo, deberá tomar la pastilla roja.

Supongamos que hemos llegado al miércoles. Con independencia de lo que haya ocurrido hasta entonces, su razonamiento será el siguiente: tomar la pastilla azul disminuirá en 60 minutos de dolor la diferencia entre el buen resultado y el malo, sin añadir nada al número esperado de minutos de dolor. A la vista de su aversión al riesgo, aceptará la pastilla azul.

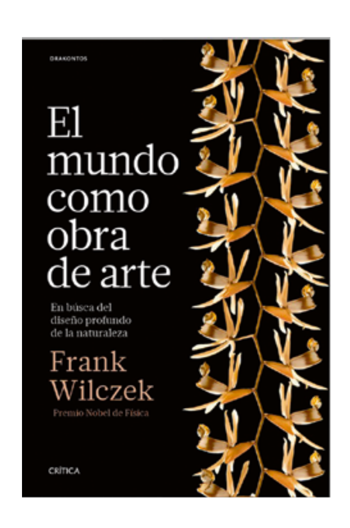
No hay, pues, ninguna sorpresa: sabe de antemano que aceptará ambas pastillas y que, al final, acabará sometiéndose a un minuto adicional de dolor. Y esto, como mínimo, parece absurdo. ¿Cómo puede ser que, actuando según unas preferencias perfectamente razonables, tenga que terminar sufriendo un minuto más de dolor, pase lo que pase?

Parece claro que solo tenemos cuatro opciones. La primera es aceptar que la aversión al riesgo es irracional. La segunda, que el sesgo hacia el futuro es irracional. La tercera, que si bien es razonable tener aversión al riesgo y también lo es tener preferencias sesgadas hacia el futuro, la combinación de ambas es irracional. La última consiste en decir que es perfectamente posible que preferencias absolutamente racionales le lleven a actuar, siguiendo un razonamiento impecable, de tal manera que su vida empeorará pase lo que pase.

En la próxima columna examinaremos cada una de estas posibilidades.

PARA SABER MÁS

Una de las discusiones seminales sobre las preferencias sesgadas hacia el futuro se debe a Derek Parfit, en **Reasons and persons**, Oxford University Press, 1984. La observación de que existe un conflicto entre las preferencias sesgadas hacia el futuro y tener aversión al riesgo es de Tom Dougherty, en **On whether to prefer pain to pass**, *Ethics*, vol. 121, n.º 3, págs. 521-537, abril de 2011.



EL MUNDO COMO OBRA DE ARTE
EN BUSCA DEL DISEÑO PROFUNDO DE LA NATURALEZA
Frank Wilczek
Crítica, 2016

La belleza en las leyes físicas

Un diseño del universo basado en la simetría

Los conceptos de elegancia y belleza son usados frecuentemente por los físicos teóricos cuando se refieren a una idea o a una teoría nueva. De hecho, la belleza es una de las metas que se persiguen durante la investigación y también uno de los motores del proceso creador. Pero ¿a qué se refieren exactamente los físicos cuando hablan de la belleza de una teoría? Si el lector se ha hecho alguna vez esta pregunta, sin duda disfrutará con la lectura del último libro de Frank Wilczek.

La obra trata de responder a la siguiente pregunta: ¿es la belleza una parte integral de la naturaleza? Para el autor, la respuesta es afirmativa. Las leyes que describen las cuatro interacciones fundamentales conocidas (la gravitatoria, la electromagnética y las interacciones nucleares fuertes y débiles) comparten una idea matemática: la simetría local, o simetría gauge. Y, gracias a este principio, las leyes fundamentales de la naturaleza presentan características que identificamos con la belleza: armonía y un gran poder predictivo.

El autor nos muestra cómo, a lo largo de lo siglos, la búsqueda de la belleza ha sido una fuente de inspiración para numerosos científicos. Con esta idea como hilo conductor, el libro repasa en una primera parte las creaciones de algunos de los gigantes de la historia: Platón, Newton y Maxwell, entre otros. Estos primeros capítulos introducen las nociones de simetría e invariancia, comentan su relación con la belleza y explican la manera en que estas ideas han evolucionado a través de los siglos. Desde los sólidos perfectos de Platón, donde el concepto de simetría hacía referencia a una propiedad geométrica y puramente estática de una serie de objetos ideales, hasta las ecuaciones de Maxwell, donde la simetría es una propiedad matemática de las ecuaciones que, a la postre, dicta cómo interaccionan entre sí los objetos con carga eléctrica, cómo se propaga la luz y, en definitiva, todo el electromagnetismo.

La segunda parte de la obra está dedicada a la física del siglo XX y al modelo estándar, la teoría moderna de las interacciones fundamentales. Tras una breve descripción de cada una de ellas y de sus propiedades más importantes, Wilczek se centra en el papel que desempeña en ellas la simetría.

Emmy Noether fue la primera en darse cuenta de la importancia de las simetrías en las teorías físicas. Hace ahora cien años, esta matemática demostró que, siempre que las ecuaciones de una teoría respetasen ciertas simetrías, existiría una cantidad específica que no cambiaría con el tiempo. El teorema de Noether asocia, por tanto, una «cantidad conservada» a cada simetría, y viceversa. La conservación de la energía, por ejemplo, aparece cuando las ecuaciones que describen un sistema resultan invariantes frente a las traslaciones en el tiempo, mientras que la conservación del momento angular no es más que una consecuencia de la simetría frente a rotaciones [*véase* «Emmy Noether», por Renata Tobies; Investigación y Ciencia, diciembre de 2004].

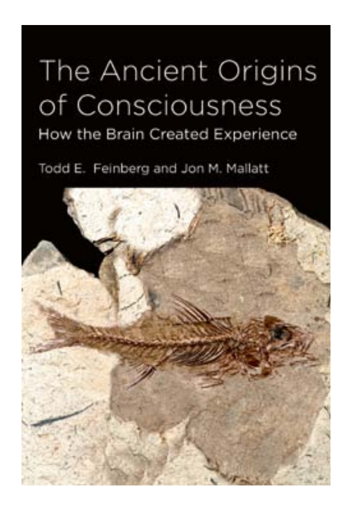
Sin embargo, la clase de simetría que hay tras la física del siglo XX, la simetría local, es particular por otra razón. En general, decimos que una teoría presenta una simetría si sus ecuaciones permanecen invariantes al aplicarles algún tipo de transformación. Lo que ocurre con las simetrías locales es que, además, permiten que dicha transformación sea distinta en cada punto del espacio. Estas simetrías son mucho más poderosas que las habituales, ya que no solo dan lugar a cantidades conservadas, sino que fijan de forma unívoca la forma en que unas partículas pueden interaccionar con otras. No podemos hacer que dos quarks interaccionen con una intensidad un poco mayor o menor que otros sin «romper» la simetría local. La única libertad que hay a la hora de diseñar un modelo de este tipo consiste en escoger una simetría local concreta y el número de partículas. Una vez hechas esas elecciones, la simetría local automáticamente nos dirá cómo ha de ser la interacción entre las partículas [*véase* «Teorías gauge de las fuerzas entre partículas elementales», por Gerard 't Hooft, Investigación y Ciencia, agosto de 1980; *reeditado para* «Grandes ideas de la física», colección Temas de IyC n.º 80, 2015].

Es precisamente la simetría local la que hace bellas las leyes de la naturaleza. Las interacciones entre partículas no son arbitrarias, ni pueden ser modificadas a placer: aparecen como consecuencia de una simetría local. El modelo estándar es un rompecabezas en el que las piezas encajan casi a la perfección, y eso lo dota de un tremendo poder predictivo.

El libro concluye con algunas especulaciones sobre las pequeñas imperfecciones del modelo estándar y sobre el tipo de teorías que podrían desbancarlo. Una vez más, el autor emplea argumentos basados en simetrías para dilucidar cómo podrían ser tales teorías. Las de gran unificación basadas en supersimetría parecen ser sus candidatas favoritas, y a ellas dedica unas cuantas páginas.

Una de las razones por las que el libro resulta interesante es porque el autor desempeñó un papel fundamental a la hora de desentrañar la estructura del modelo estándar. En 2004, Wilczek recibió el premio Nobel de física por su descubrimiento de la libertad asintótica, una propiedad esencial para entender las interacciones fuertes [*véase* «Cincuenta años de libertad asintótica», por Antonio González-Arroyo; Investigación y Ciencia, junio de 2013]. Más allá de un estilo un poco cursi que puede no gustar a todos, el libro describe la física del siglo XX haciendo hincapié en la función que cumple la simetría en nuestra manera de entender las leyes de la naturaleza. Todo ello de la mano de uno de los grandes físicos del siglo.

—Alberto Ramos
CERN
Ginebra



THE ANCIENT ORIGINS OF CONSCIOUSNESS
HOW THE BRAIN CREATED EXPERIENCE

Todd E. Feinberg y Jon M. Mallatt
The MIT Press, 2016

Consciencia sensorial

Del Cámbrico a nuestros días

Consciencia es un término polisémico. Entre sus significados distintivos está el de hallarse alerta y vígil, percatarse de cuanto nos rodea, experimentar y responder a la red sensorial que nos bombardea en cada momento, poder relacionar sensaciones presentes con experiencias del pasado, recordar lo acontecido, anticipar y planear el futuro, decidir en el curso de una acción o escoger las palabras de una frase. Todas esas sensaciones, recuerdos, planes y anticipaciones de acción acontecen dentro del mundo privado y subjetivo que antaño se resumía en la expresión *yo*. El yo es una mente, una subjetividad interna y unos límites permeables a un mundo externo, social y físico. Los humanos somos seres sociales y nuestra consciencia forma parte de nuestra existencia como animales sociales.

¿Cuándo apareció la consciencia sobre la Tierra? ¿Cuál fue su curso de evolución? ¿En qué consiste? De acuerdo con el registro fósil, hace entre 520 y 560 millones de años, en la gran explosión del Cámbrico de diversidad animal, se forjaron los primeros cerebros complejos, los cuales irían acompañados por comportamientos más o menos reflexivos, elementales. Si aceptamos la conclusión de los autores, todos los vertebrados son y han sido siempre conscientes: peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Entre los invertebrados, artrópodos y cefalópodos cumplen muchos de los requisitos para poder disponer de consciencia.

El punto de partida de la inquisición científica del origen de la consciencia, se supuso en un comienzo, eran las propiedades singulares y exclusivas del neocórtex de los mamíferos [*véase* «El problema de la consciencia», por Francis Crick y Christof Koch; Investigación y Ciencia, noviembre de 1992]. Parece hoy obligado abordar la consciencia desde muchas perspectivas, incluso en el ámbito restringido de la ciencia. Más difícil resulta liberarse de la carga ideológica que nos condicione. El naturalismo neurobiológico baña buena parte de esta obra, donde se actualizan diversos trabajos de los autores sobre la evolución de la consciencia, cuyos inicios ellos fechan en hace 520 años, en plena eclosión del Cámbrico. En tres postulados compendian su tesis: podemos explicar la consciencia sensorial mediante principios conocidos de la neurobiología; la consciencia sensorial, antiquísima y creada por diversas arquitecturas neurales, se halla muy expandida en el mundo animal; por fin, cuanto queda a menudo reservado para la especulación filosófica encuentra explicación en el dominio de la neurobiología evolutiva.

Todos los organismos conscientes están dotados al menos de consciencia sensorial, una propiedad regida por leyes científicas aceptadas y conocidas. Esta forma primaria de consciencia equivale a sentir como propio cualquier tipo de experiencia. Amén de sensorial, recibe también los apelativos de consciencia fenoménica y consciencia perceptiva. No tiene nada que ver con el refinamiento y elaboración de una consciencia humana, sino que basta con la presencia de pautas de experiencia subjetiva, por tenue que sea. La consciencia sensorial permite al cerebro crear un mundo interior.

La consciencia sensorial emerge del cerebro vivo; en particular, de interacciones neurales jerarquizadas. Vida y consciencia son, en la naturaleza, privativas de cada individuo, del organismo en su conjunto. Una sola célula retiniana del ojo no ve nada, como no oye nada una neurona del córtex auditivo. Tener una consciencia sensorial (una experiencia consciente) es un proceso emergente que requiere la interacción entre muchas neuronas ordenadas de una manera peculiar y que reciben información de otras fuentes no sensoriales, tales como la memoria y los sistemas reticulares de activación.

No basta la emergencia para explicar la consciencia sensorial [*véase* «La consciencia: ¿solo un montón de neuronas?», por Manuela Lenzen; Mente y Cerebro n.º 76, 2016]. Todos los sistemas vivos, dotados de consciencia o privados de ella, presentan numerosas propiedades emergentes. La digestión emerge del sistema digestivo, la circulación del sistema circulatorio, pero esos sistemas distintos del nervioso no son conscientes. Una colonia de hormigas que construye una colina es un sistema, o una sociedad, donde las hormigas individuales no se proponen construir una colina, pero su conducta colectiva la crea.

Al resaltar el carácter neural de la consciencia nos referimos a las cadenas y redes de neuronas que evolucionaron a partir de arcos reflejos. Los reflejos neurales no son en sí mismos conscientes, ni tampoco son conscientes de sí mismos, pero constituyen un ingrediente esencial del sustrato neural que hace posible la consciencia.

Hay múltiples razones para ello. Las neuronas, capacitadas para el procesamiento sensorial rápido de los estímulos, pueden asociarse y formar cadenas y circuitos complejos, lo que las faculta para acometer procesamientos más refinados. No obstante, si bien neuronas y reflejos pavimentan el camino de la consciencia, no son consciencia ni la crean. Solo un cerebro unificado que, en el curso de su evolución, haya adquirido jerarquías neurales elaboradas crea las interacciones entre neuronas que señalan la transición de meros reflejos a una consciencia fenoménica subjetiva [*véase* «Creación cerebral de la mente», por Antonio R. Damasio; Investigación y Ciencia, enero de 2000, y «La neurobiología del yo», por Carl Zimmer; Investigación y ciencia, enero de 2006].

La consciencia sensorial evidencia continuidad desde unos primeros atisbos hasta un alto nivel de consciencia. La consciencia sensorial exteroceptiva comenzó hace 520 millones de años, cuando vertebrados incipientes y artrópodos de-

sarrollaron mejores sentidos de distancia en respuesta a la aparición de depredadores durante la explosión del Cámbrico. Sus cerebros procesaron los nuevos estímulos sensoriales que tal acontecimiento provocó. Hace 220 millones de años, la consciencia sensorial de los vertebrados progresó en los primeros mamíferos, que contaban con mejor información merced a las imágenes aprendidas y recordadas. Los artrópodos no realizaron ese segundo tránsito. Los vertebrados cumplen los tres criterios básicos de la consciencia, exigidos por Feinberg y Mallatt: exteroceptivos, afectivos e interoceptivos. Artrópodos y cefalópodos satisfacen muchas de las condiciones requeridas.

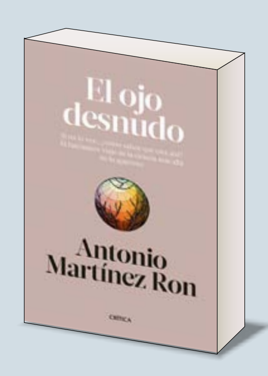
En un estadio final se produjo, en el marco de la línea primate de los mamíferos, la autoconsciencia, el lenguaje y el percatarse del estado mental de los otros. Aconteció probablemente cuando apareció el hombre moderno, hace unos 200.000 años [*véase* «El origen de la mente», por Juan Luis Arsuaga e Ignacio Martínez; Investigación y Ciencia, noviembre de 2001].

—*Luis Alonso*

NOVEDADES



PARÁSITOS
EL EXTRAÑO MUNDO DE LAS CRIATURAS MÁS PELIGROSAS DE LA NATURALEZA
Carl Zimmer
Capitán Swing, 2016
ISBN: 978-84-945481-7-8
312 págs. (22 €)



EL OJO DESNUDO
SI NO VEN, ¿CÓMO SABEN QUE ESTÁ AHÍ? EL FASCINANTE VIAJE A LA CIENCIA MÁS ALLÁ DE LO APARENTE
Antonio Martínez Ron
Crítica, 2016
ISBN: 978-84-9892-981-2
350 págs. (21,90 €)



MAESTROS DEL UNIVERSO
CONVERSACIONES CON MAESTROS DE LA COSMOLOGÍA
Helge Kragh
Crítica, 2016
ISBN: 978-84-9892-902-7
368 págs. (22,90 €)



EN BUSCA DEL CERO
LA ODISEA DE UN MATEMÁTICO PARA REVELAR EL ORIGEN DE LOS NÚMEROS
Amir D. Aczel
Biblioteca Buridán, 2016
ISBN: 978-84-16288-90-8
230 págs. (24 €)

Recopilación de Daniel C. Schlenoff



Octubre 1966

Del ADN a las proteínas

«La hipótesis de que la célula viva contiene toda la información que necesita para reproducirse data de más de cincuenta años. Subyace en esa hipótesis la idea de que los genes portan en forma codificada las especificaciones detalladas acerca de los miles de tipos de proteínas que la célula requiere para su existencia en cada momento: para extraer energía de las moléculas asimiladas como alimento, para autorrepararse y también para reproducirse. Sin embargo, solo en los últimos quince años hemos logrado comprender mejor la naturaleza química del material genético y el modo en que su estructura molecular incorpora unas instrucciones codificadas que pueden ser "leídas" por la maquinaria celular responsable de la síntesis de las moléculas proteicas.

—Francis H. C. Crick»

En 1962 Crick había recibido un premio Nobel por sus trabajos sobre el ADN.

Espionaje en la Guerra Fría

«El testimonio de dos científicos involucrados en el trabajo realizado en Los Álamos durante la guerra apunta a que el "croquis de sección recta" secreto, introducido en 1951 en el juicio por espionaje a Julius y Ethel Rosenberg y Morton Sobell, carecía de valor descriptivo de la bomba. Los dos científicos son Henry Linschitz, de la Universidad Brandeis, y Philip Morrison, del Instituto de Tecnología de Massachusetts. A iniciativa de Sobell, que está cumpliendo una condena de treinta años de prisión federal, se ha abierto a la atención pública la parte secreta del expediente judicial. Linschitz declaró que "es técnicamente imposible resumir en un esquema, dibujado en una simple hoja de papel por un bachiller, los resultados de unos esfuerzos de investigación por valor de dos mil millones de dólares".»

En 2008, Sobell, a la edad de 91 años, admitió haber entregado información militar a la Unión Soviética.



Octubre 1916

La guerra y los tanques

«El aspecto más novedoso y original, si no el más llamativo, de la reciente ofensiva en el Somme, coronada por el éxito, de los Ejércitos francés y británico fue la presencia de varios tractores armados y blindados (*véase la ilustración*), los cuales, a juzgar por los informes de prensa, se mostraron magníficamente eficaces en rematar el ataque de las armas pesadas. La función que esas máquinas estén destinadas a desempeñar en etapas siguientes de la guerra es un tema de pura especulación. Los británicos hablan de ellas como de un gran éxito; Berlín, naturalmente, las describe como un completo fracaso: poco maniobrables, lentas y propensas a averiarse.»

Energía solar

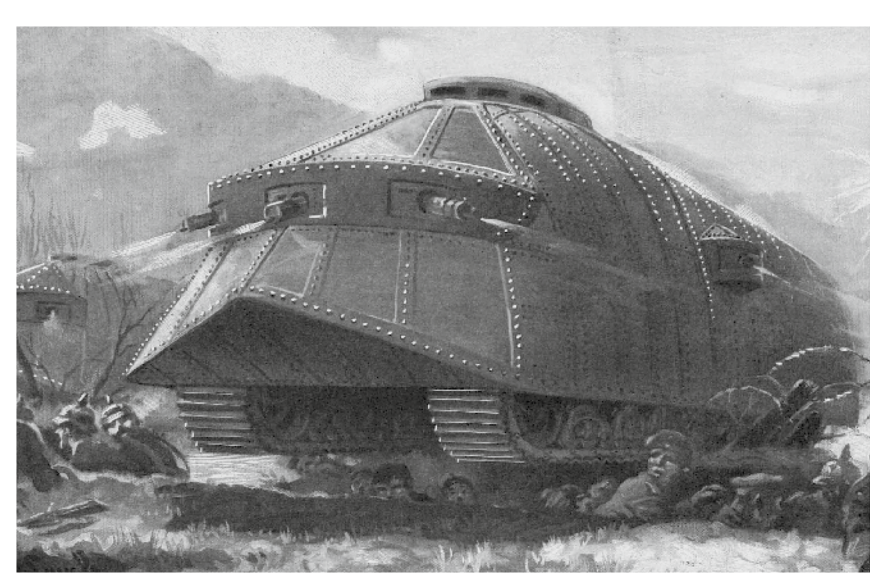
«Parece que, aunque las calderas de carbón han sido perfeccionadas, el rendimiento de las solares podrá mejorarse mucho más. Esta opinión se apoya en los experimentos recientemente efectuados, durante dos años, en Meadi, a orillas del Nilo y a unos doce kilómetros al sur de El Cairo. La instalación se componía de cinco calderas de 62,5 metros en el foco de cinco reflectores especulares acanalados de 1233 metros cuadrados. La máxima cantidad de vapor generado rendía 63 caballos de potencia al freno por acre de terreno ocupado por la planta. Estos resultados parecen revelar el gran valor operativo de las calderas solares, especialmente allá donde abunda la luz del sol y escasea el carbón.»



Octubre 1866

Plaga de saltamontes

«Los agricultores del condado de Brown, en Kansas, y territorios contiguos parecen sufrir últimamente una plaga similar a las que castigaron al faraón. Los saltamontes persisten en números incontables cubriendo una senda de casi veinte kilómetros de ancho y consumiendo casi toda vegetación. Dice el *Enterprise* de Marysville: "Se abatieron sobre campos, jardines, frutales y cuanto fuera verde o comestible, y, como en la marcha de doscientos cincuenta cuerpos de ejército, devoraban cuanto tocaban. Se han adueñado de la región entera. Los agricultores están seriamente alarmados por miedo a que el maíz acabe siendo devorado por completo".»



1916: Ilustración imaginativa de un nuevo «tanque» de guerra basada en la escasa información hecha pública en aquellos días.

SCIENTIFIC AMERICAN, VOL. CXV, N.º 15, 7 DE OCTUBRE DE 1916

NÚMERO MONOGRÁFICO

El futuro de la humanidad

9 grandes cuestiones sobre cómo los humanos estamos transformado el mundo y con ello a nuestra propia especie.

GEOLOGÍA
¿Qué huellas dejaremos en el planeta?
Por Jan Zalasiewicz

MEDIOAMBIENTE
¿Cómo nos cambiará el clima?
Por Katie Peek

POBLACIÓN
¿Qué países prosperarán y cuáles quedarán atrás?
Por Mara Hvistendahl

ECONOMÍA
¿Perdurará la sociedad civil?
Por Angus Deaton

BIOTECNOLOGÍA
¿Controlaremos nuestros destinos genéticos?
Por Stephen S. Hall

SALUD
¿Venceremos al envejecimiento?
Por Bill Gifford

TECNOLOGÍA
¿Cómo coevolucionarán humanos, máquinas y organismos modificados genéticamente?
Por Ricard Solé y Sergi Valverde

ROBÓTICA
Si fuera posible, ¿desearíamos vivir para siempre?
Por Hillary Rosner

ESPACIO
¿Cuánto durará nuestra especie?
Por David Grinspoon

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
DIRECTORA GENERAL
Pilar Bronchal Garfella
DIRECTORA EDITORIAL
Laia Torres Casas
EDICIONES Anna Ferran Cabeza, Ernesto Lozano Tellechea, Yvonne Buchholz, Bruna Espar Gasset
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón, Albert Marín Garau
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado, Olga Blanco Romero

EDITA
Prensa Científica, S.A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Fax 934 145 413
e-mail precisa@investigacionyciencia.es
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN
EDITOR IN CHIEF AND SENIOR VICE PRESIDENT
Mariette DiChristina
EXECUTIVE EDITOR Fred Guterl
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
DESIGN DIRECTOR Michael Mrak
SENIOR EDITORS Mark Fischetti, Josh Fischmann, Seth Fletcher, Christine Gorman, Clara Moskowitz, Gary Stix, Kate Wong
ART DIRECTOR Jason Mischka
MANAGING PRODUCTION EDITOR Richard Hunt

PRESIDENT Dean Sanderson
EXECUTIVE VICE PRESIDENT Michael Florek
PUBLISHER AND VICE PRESIDENT Jeremy A. Abbate

DISTRIBUCIÓN

para España:
LOGISTA, S. A.
Pol. Ind. Polvoranca - Trigo, 39 - Edificio B
28914 Leganés (Madrid)
Tel. 916 657 158

para los restantes países:
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona

PUBLICIDAD
Prensa Científica, S. A.
Tel. 934 143 344
publicidad@investigacionyciencia.es

SUSCRIPCIONES
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Tel. 934 143 344 - Fax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

Precios de suscripción:

	España	Extranjero
Un año	75,00 €	110,00 €
Dos años	140,00 €	210,00 €

Ejemplares sueltos: 6,90 euros

El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.



COLABORADORES DE ESTE NÚMERO
Asesoramiento y traducción:
Juan Pedro Campos: *Apuntes*; Andrés Martínez: *Apuntes*; Ana Fernández del Río: *Un nuevo método para estudiar las oscilaciones de neutrinos*; Yago Ascasibar: *El lugar más vacío del universo*; Elena Baixeras: *Una década de reprogramación celular*; Juan Manuel González Mañas: *La paradoja de Huntington*; Xavier Roqué: *Realismo de origen sociocultural en la ciencia*; José Ó. Hernández Sendín: *Las dificultades de la ciberseguridad y Metal bípedo*; Fabio Teixidó: *La era de la (des)información*; J. Vilardell: *El sol calienta... y también enfría y Hace...*

ISSN edición impresa 0210-136X Dep. legal: B-38.999-76
ISSN edición electrónica 2385-5665

Imprime Rotocayfo (Impresia Ibérica) Ctra. de Caldes, km 3 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España